



Aalborg Universitet

**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

## **Branchevejledning for energiberegninger 2.0**

Mortensen, Lone Hedegaard; Kanafani, Kai; Rose, Jørgen; Hjorth Richter, Kim

*Publication date:*  
2018

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Mortensen, L. H., Kanafani, K., Rose, J., & Hjorth Richter, K. (2018, feb. 1). Branchevejledning for energiberegninger 2.0. [https://issuu.com/www.innobyg.dk/docs/usikkerheder\\_ved\\_energiberegninger](https://issuu.com/www.innobyg.dk/docs/usikkerheder_ved_energiberegninger)

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

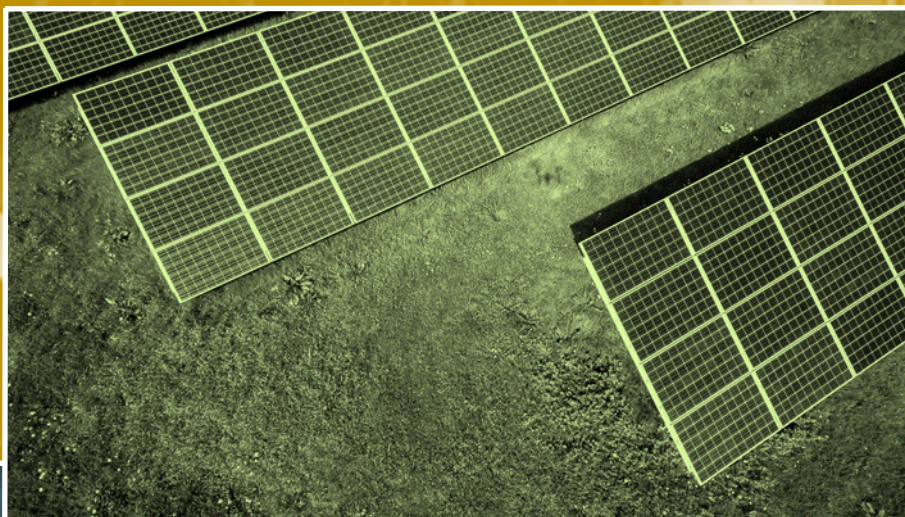
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Branchevejledning for energiberegninger

Version 2.0



Titel	Branchevejledning for energiberegninger
Undertitel	
Serietitel	
Udgave	2. udgave
Udgivelsesår	2018
Forfattere	Lone Mortensen, Kai Kanafani, Jørgen Rose, Kim Hjorth Richter, Peter Noyé, Steffen E. Maagaard, Rasmus Lund Jensen
Redaktion	
Sprog	Dansk
Fotos	InnoBYG
Omslag	InnoBYG
Tryk	InnoBYG
Udgiver	<p>Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet,  A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV  E-post <a href="mailto:sbi@sbi.aau.dk">sbi@sbi.aau.dk</a>  <a href="http://www.sbi.dk">www.sbi.dk</a></p> <p>InnoBYG v/Teknologisk Institut  Gregersensvej 4, indgang 4  2630 Taastrup  <a href="mailto:innobyg@teknologisk.dk">innobyg@teknologisk.dk</a>  <a href="http://www.innobyg.dk">www.innobyg.dk</a></p>

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven



# Forord, version 2.0

Denne version 2.0 af Branchevejledning for energiberegninger er en udbygning af version 1.0 fra juni 2014.

Formålet med Branchevejledning for energiberegninger er dels at få et oplæg til kommunikation mellem bygherre og rådgivere om energirenovering og dels at få en guide til udførelse af retvisende energiberegninger. Branchevejledningen henvender sig til bygherrer med både mindre og større bygningsporteføljer og til rådgivere, som leverer beregningsydelser i forbindelse med energirenoveringer.

Branchevejledningen skal skabe tillid til energiberegninger med øget gennemsigthed i kommunikationen mellem bygherre og rådgiver og enighed om ensartet brug af metoder til udførelse af energiberegningerne på tværs i byggebranchen.

Den første udgave var udarbejdet af en bred skare af InnoBYG-medlemmer fra byggebranchen, herunder bygherrer, rådgivere, organisationer og vidensinstitutioner: MOE, NIRAS, EKJ, 3xB, DME miljø, Jeudan ServicePartner, COWI, Rambøll, FRI, DANSKE ARK, Bygningsstyrelsen og SBI.

Formålet med at revidere branchevejledningen har været at forbedre metodebeskrivelserne til beregning af energibesparelser, samt afsnittene om usikkerheder og følsomhedsanalyser. Den nye udgave af branchevejledningen er desuden udvidet med cases for forskellige bygningstyper, som eksempler på hvordan vejledningen kan bruges i praksis. Der er desuden tilføjet flere bilag med udbygning af andre emner.

Ligesom den tidligere udgave af Branchevejledning for energiberegninger, er denne udgave udarbejdet i InnoBYG regi. InnoBYG er byggebranchens innovationsnetværk for bæredygtigt byggeri, støttet af Uddannelses- og forskningsministeriet. Publikationen er desuden støttet af Grundejernes investeringsfond, GI.

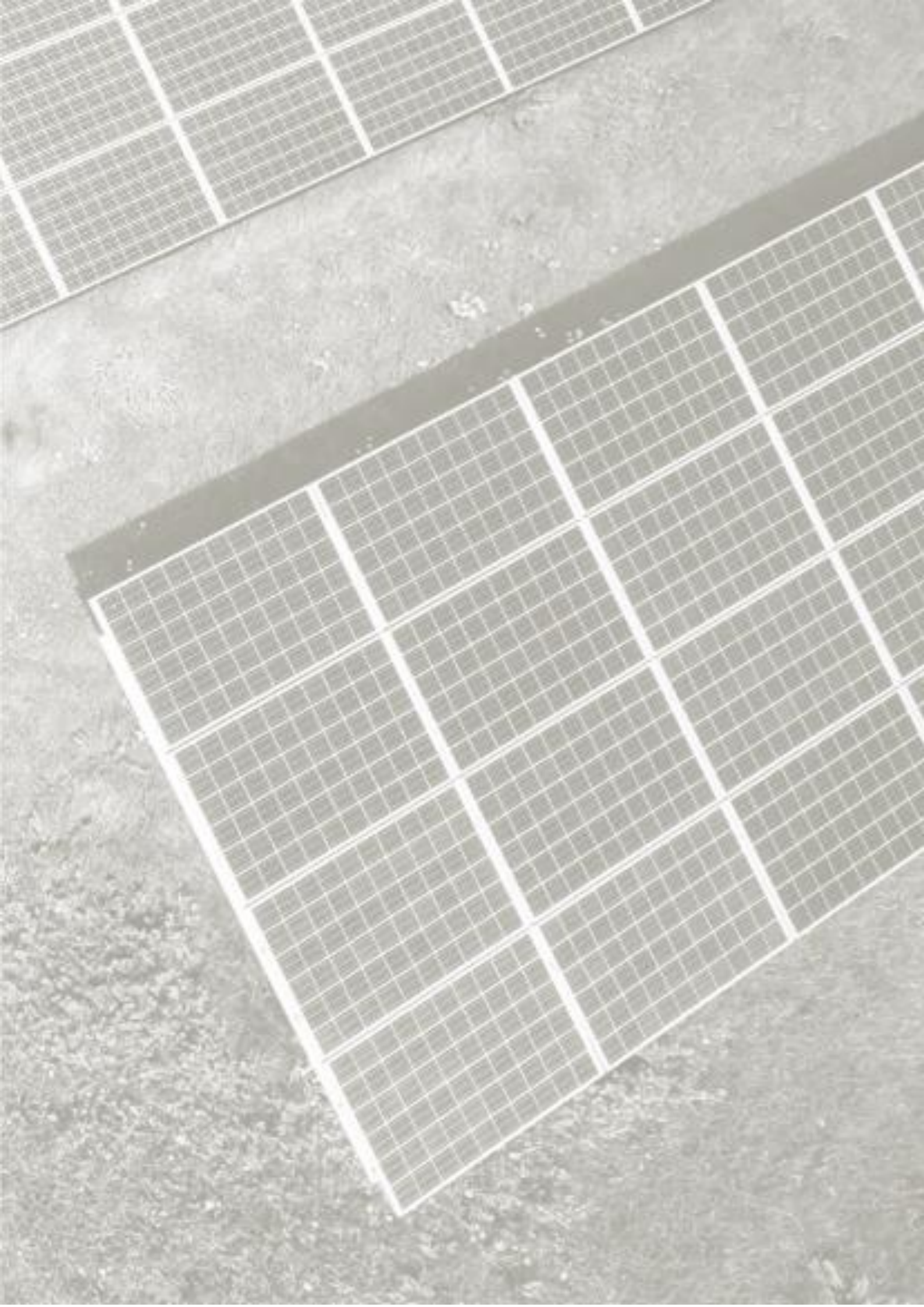
Revisionen af branchevejledningen er foretaget af InnoBYG partnerne, Statens Byggeforskningsinstitut ved Aalborg Universitet (Lone Hedegaard Mortensen, Kai Kanafani og Jørgen Rose) og Teknologisk Institut (Kim Hjorth Richter) samt NIRAS (Peter Noyé), MOE (Steffen E. Maagaard) og Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg (Rasmus Lund Jensen).

Branchevejledningen har desuden været i høring i en bredere kreds under InnoBYG.

Juni, 2018



Udgivelsen er medfinansieret af  
Uddannelses- og Forskningsministeriet



# Indhold

<b>INDLEDNING</b>	<b>7</b>
LÆSEVEJLEDNING	9
<b>VALG AF BEREGNINGSMETODE</b>	<b>11</b>
BEREGNINGSGRUNDLAG	11
SIMPEL BEREGNING	12
AVANCERET BEREGNING	12
ENKELTTILTAG	12
<i>Boliger</i>	12
<i>Andet byggeri</i>	13
KOMBINEREDE TILTAG	14
<i>Bolig</i>	14
<i>Andet byggeri</i>	14
<b>METODEBESKRIVELSER</b>	<b>15</b>
ENKELTTILTAG	15
<i>Simpel beregning</i>	15
<i>Avanceret beregning</i>	16
KOMBINEREDE TILTAG	17
<i>Simpel beregning</i>	17
<i>Avanceret beregning</i>	17
FASTLÆGGELSE AF BASELINE	17
STANDARDFORUDSÆTNINGER	18
PARAMETRE OG USIKKERHEDER	19
<i>Usikkerheder</i>	19
<i>Parametre</i>	20
<i>Arealer</i>	21
<i>Konstruktioner</i>	21
<i>Brugstid</i>	22
<i>Ventilation</i>	22
<i>Internt varmetilskud</i>	23
<i>Belysning</i>	24
<i>Andet elforbrug</i>	24
<i>Køling</i>	24
<i>Varmefordelingsanlæg</i>	25
<i>Pumper</i>	25
<i>Varmt brugsvand</i>	25
<i>Varmeinstallation</i>	26
<i>El- og varmeproduktion</i>	27
<i>Bygningsdrift</i>	27
<b>FØLSOMHEDSANALYSER</b>	<b>29</b>
BETYDNING AF PARAMETRE	29
FREMGANGSMÅDE	29
RESULTAT AF FØLSOMHEDSANALYSER	32
<b>RAPPORTERING</b>	<b>33</b>
DOKUMENTATION	33
OPFØLGNING OG FUNKTIONSAFPRØVNING	34
EVALUERING	34
<b>LITTERATURHENVISNINGER</b>	<b>35</b>
<b>BILAG 1: BEREGNINGSEKSEMPEL</b>	<b>37</b>

<b>BILAG 2: KALIBRERING AF BEREGNINGSMODEL UD FRA MÅLTE DATA</b>	<b>39</b>
<b>BILAG 3: PREBOUND- OG REBOUND-EFFEKTER</b>	<b>41</b>
<b>BILAG 4: HÅNDTERING AF EL-PRODUCERENDE ANLÆG SOM FX SOLCELLER</b>	<b>43</b>
<b>BILAG 5: GRADDAGE FOR KLIMASKÆRM OG VENTILATION</b>	<b>45</b>
GRADDAGE TIL BRUG FOR GRADDØGNSKORREKTION	45
<b>BILAG 6. ENERGISIGNATUR</b>	<b>47</b>
<b>BILAG 7. EKSEMPLER PÅ CASES</b>	<b>49</b>
CASE 1, ETAGEEJENDOM MED FØR- OG EFTER-MÅLINGER	49
CASE 2, ETAGEEJENDOM MED FØR-MÅLINGER	49
CASE 3, SKOLE MED FØR OG EFTER-MÅLINGER	49
CASE 4, KONTORBYGNING MED FØR- OG EFTER-MÅLINGER	49
<b>USIKKERHEDER VED ENERGIBEREGNINGER</b>	

# Indledning

Der er stort fokus på energieffektivisering af den eksisterende bygningsmasse, hvilket giver anledning til øget efterspørgsel efter retvisende energiberegninger, som kan benyttes til estimering af energiforbrug og -besparelser forbundet med renoveringer.

Forventninger til energibesparelser og til fremtidigt energiforbrug anvendes til fordeling af midler til investering i energibesparelsetiltag og i vurderingen af renoveringers rentabilitet.

Erfaringer har generelt vist, at estimater af energiforbrug og energibesparelser i forbindelse med renoveringer har været forbundet med store usikkerheder – usikkerheder i en sådan grad, at det udgør en barriere for effektiv og troværdig gennemførelse af energirenoveringer i større omfang.

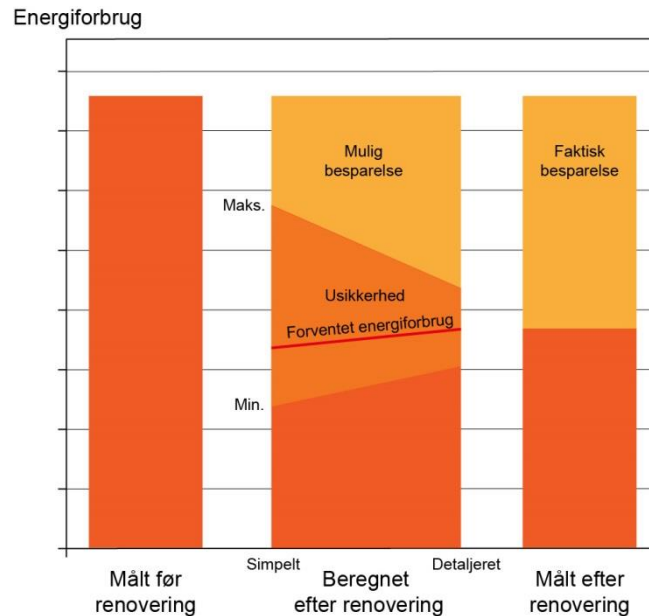
Denne branchevejledning for energiberegninger og den tilhørende introduktion for bygningsejere forklarer og anviser en proces samt en metode for at opnå mere retvisende estimater af energiforbrug og -besparelser.

Det er i denne forbindelse vigtigt at bemærke, at branchevejledningen ikke anviser en metode til energirammeberegninger i programmet Be18. Her henvises i stedet til SBI-anvisning 213. Be18 beregningen, som foretages i forbindelse med myndighedsgodkendelsen, har alene til formål, at eftervise overholdelse af bygningsreglementets energibestemmelser, og beregningen afspejler altså ikke nødvendigvis bygningens forventede energiforbrug.

Branchevejledningen tager udgangspunkt i en proces, hvor bygningsejeren (bygherre) og rådgiver har mulighed for at opbygge en større fælles forståelse af behov, betydende forudsætninger og usikkerheder forbundet med energiberegninger.

Metoden tager udgangspunkt i en kvalificering af allerede kendte beregningsmetoder og værktøjer. Detaljeringsgraden justeres i forhold til det aktuelle vidensniveau, som kan øges ved eksempelvis registreringer, som også mindsker usikkerhederne, se Figur 1.

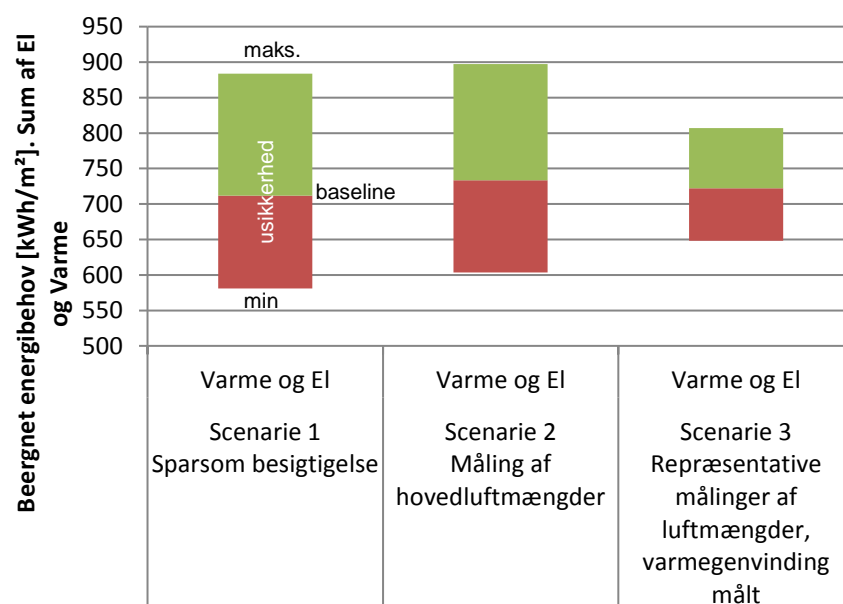




Figur 1. Beregning af et kommende energiforbrug vil være forbundet med en vis usikkerhed i forhold til et kommende energiforbrug målt efter energirenovering.

Værktøjer til energiberegninger strækker sig fra simple korrigerede graddagemodeller til Be18-beregninger, som er kvalificerede på væsentlige områder. Her tænkes der særligt på styring og regulering af tekniske installationer på basis af dynamiske analyser af indeklima eller fra målinger.

Resultatet af energiberegningen angiver en middelværdi for det forventede energiforbrug eller tilsvarende energibesparelse, som altid angives med en tilhørende usikkerhed i form af et spænd for den forventede variation af resultatet. Middelværdien kan justeres og variationen reduceres ved yderligere kvalificering af væsentlige udvalgte forudsætninger. En mindre usikkerhed kan altså opnås gennem eksempelvis mere detaljerede registreringer/målinger eller fastlæggelse af reelle driftsforhold. Herunder vises et eksempel på kvalificering af en beregning, hvor baseline er linjen mellem den røde og den grønne kasse, se Figur 2. Den røde og grønne kasse angiver usikkerheden, som kan reduceres væsentligt. Eksemplet beskrives nærmere i afsnit *Usikkerheder*.



Figur 2. Gennem mere detaljerede registreringer/målinger eller kvalificering af reelle driftsforhold kan det forventede spænd for usikkerheden (rød og grøn kasse) justeres og reduceres.

Denne branchevejledning fokuserer på retvisende energiberegninger, men da store dele af bygningers energiforbrug benyttes til at etablere et optimalt indeklima, bør energiforbruget og indeklimaet betragtes samlet. Bygherrers krav til indeklimaets kvalitet vil ofte afspejles i størrelsen af anlæg og hertil hørende energiforbrug til klimatisering. Derfor henvises der samtidig til:

- *Branchevejledning for indeklimateberegninger* (Vorre et al. 2017), som ligeledes er udarbejdet i InnoBYG-regi

For gennemførelse af større energirenoveringsprojekter findes der en SBI-anvisning, som vejleder de involverede parter i, hvordan et energirenoveringsprojekt gennemføres i alle projekts faser:

- SBI-anvisning 269 – *Energirenovering af større bygninger – metode og proces* (Mortensen et al. 2017)

Der er forskelle i tilgangen til en energiberegning for en bygning og indeklimateberegninger for den samme bygning. Ved energiberegninger vil man normalt foretage en beregning for hele bygningen, mens der ved indeklimateberegninger typisk ses på dimensionerede forhold for belastninger i forskellige rumtyper. Helt konkret betyder det også, at der er forskel på anbefalingerne til, hvilke belastninger der benyttes som standardforudsætninger. Argumentet for dette er, at ved indeklimateberegninger bør belastninger i rummet overvurderes, og omvendt ved energiberegninger bør belastningerne undervurderes for at få resultater som er på den "sikre side". I praksis betyder det, at for indeklimateberegning sikres det at bygningen kan holde til den givne belastning, og ved energiberegning sikres det, at energibesparelsen ikke overvurderes.

## Læsevejledning

Branchevejledningen er opbygget med en kort indledning om behovet for retvisende energiberegninger, som følges af valg af beregningsmetode til et konkret projekt og beskrivelse af forskellige beregningsmetoder. Desuden beskrives parametre og usikkerheder i forbindelse med energiberegninger og der vises metoder til at gennemføre følsomhedsanalyser for de beregnede resultater.

Branchevejledningen sigter mod, at anviser metoder til energiberegning afhængigt af renoveringsomfang og behov for nøjagtighed af beregningen.

Afslutningsvis beskrives hvad der skal indeholdes i rapportering af energiberegninger, og hvordan der følges op og foretages evaluering af en gennemført energirenovering.

Bagerst i vejledningen findes en beskrivelse af usikkerheder i forbindelse med energiberegninger, der er tænkt som et udgangspunkt for kommunikationen med bygherrer.

Desuden indeholder Branchevejledningen for energiberegninger 7 bilag med uddybning af emner og hjælp til beregninger, samt eksempelcases for etageejendomme, en skole og en kontorbygning.

Branchevejledningen er frit tilgængelig via InnoBYGs hjemmeside og findes desuden på [www.sbi.dk/bve](http://www.sbi.dk/bve).



# Valg af beregningsmetode

Der findes flere forskellige metoder til beregning af energibesparelser. Hvilken metode der bør benyttes i et konkret projekt, afhænger af både bygningstype, omfang af renoveringen og den grundlæggende viden om bygningen. Det er op til bygherren og dennes risikoprofil at beslutte, hvor nøjagtig bestemmelsen af en forventet energibesparelse skal være og hvor stor en usikkerhed der accepteres på resultatet, da der er sammenhæng mellem investering og nøjagtighed af energiberegningerne.

Til beregning af den forventede energibesparelse ved et eller flere renoveringstiltag, findes en række forskellige metoder og værktøjer, fx simple beregninger i regneark eller mere detaljerede beregninger i Be18, hvor de parametre, der indgår, eventuelt kan kvalificeres med mere detaljerede simuleringsprogrammer, som for eksempel BSim.

Kompleksiteten af en forestående renovering har betydning for, hvor detaljeret en beregning der skal foretages. Derfor opdeles metoden i simpel og avanceret beregning.

Herudover opdeles omfanget af renoveringer i enkelttiltag der er uafhængige af hinanden og kombinerede tiltag. Fordelingen heraf varierer for henholdsvis boliger og andet byggeri.

De forskellige værktøjers anvendelse i forhold til forskellige renoveringsomfang er vist i Tabel 1. Der gives en kort introduktion til simple og avancerede beregninger samt enkelttiltag og kombinerede tiltag her, som uddybes i afsnittet *Metodebeskrivelser*.

Tabel 1. Beregningsmetoders og -værktøjers anvendelse i forhold til forskellige renoveringsomfang.

	Enkelt tiltag	Kombinerede tiltag
Simpel beregning (estimat)	Graddage $E_w$	Be18
Avanceret beregning	Korrigeret graddage Korrigeret $E_w$ EI-besparelse	Alle tiltag Be18: Energi (udvidet) Kvalificeret med eksisterende forbrug Kvalificeret med detaljeret viden om anvendelse og belastninger Ventilation kvalificeret med supplerende analyser af luftmængder og SEL og hhv. vinter og sommer

## Beregningsgrundlag

Grundlaget for energiberegninger er typisk en kombination af vidensindsamling og besigtigelse.

Vidensindsamling skal sikre inddragelse af eksisterende data om bygningen, herunder tegningsmateriale, forbrugsdata, energimærkning, tilstandsrapporter og materiale fra tidligere renoveringer.



Besigtigelse er som oftest også nødvendigt, og særligt ved mere komplekse arbejder, hvor en højere grad af præcision er krævet i forhold til både forudsætninger og resultater. Besigtigelsen foretages for at fastlægge nøgleparametre for konstruktioner, installationer og bygningens anvendelse. Besigtigelsen er ikke en enkeltstående aktivitet, men skal ses som supplement til de øvrige beregningstekniske aktiviteter.

## Simpel beregning

Der foretages en håndberegning af den forventede energibesparelse baseret på viden om konstruktionens/installationens energirelaterede egenskaber før og efter renovering. De klimatiske forhold for inde- og udeklimaet baseres på årsvariationer. Et eksempel er graddagemetoden eller vurdering af energibesparelsen ved hjælp af vinduers energibalance ( $E_w$ ).

## Avanceret beregning

Der foretages en detaljeret beregning af den forventede energibesparelse baseret på en detaljeret beregningsmodel af bygningens energimæssige egenskaber før og efter renovering. Heri medtages både renoverede konstruktioner/installationer og ikke-renoverede konstruktioner/installationer. Ligeledes medtages påvirkninger fra ventilation, varmeafgivelse fra personer/udstyr m.m. De klimatiske påvirkninger fra indeklima og udeklima medtages om nødvendigt på timebasis. Be18 er et eksempel på et værktøj, der vil kunne benyttes til at beregne den forventede energibesparelse, hvor beregningen kan kvalificeres med forbedrede data for eksempelvis luftmængder baseret på indeklimasimuleringer med et dynamisk simuleringsprogram som fx BSim.

Beregningsmetodikken opdeles for en række af analyserne i beregninger for forskellige bygningstypologier – herunder boliger, erhverv og skoler.

## Enkelttiltag

Enkelttiltag defineres her som tiltag, der er indbyrdes uafhængige og hvor energibesparelserne kan beregnes enkeltvis og adderes.

Hvis enkelttiltagene ikke er indbyrdes uafhængige, skal der tages højde for dette i beregningerne, og dermed benyttes metoder for kombinerede tiltag.

### **Boliger**

Tabel 2 viser en oversigt over tiltag, som umiddelbart er indbyrdes uafhængige af hinanden. Det vil sige, tiltag hvor effekten kan beregnes simpelt og senere hen adderes.

Tabel 2. Liste over enkelttiltag ved energirenovering af boliger.

Tiltag	Uafhængig
<b>Klimaskærm</b>	
Efterisolering af klimaskærm	X*
Efterisolering af en mindre del af ydervæggens areal	X
Udskiftning af ruder	X*
Udskiftning af vinduer	X*
Efterisolering af tag	X
<b>Installationer</b>	
Udskiftning af pumper	X
Efterisolering af rør	X
Udskiftning eller efterisolering af VVB/veksler	X
Udskiftning af ventilationsaggregater og udsugningsventilatorer	X
Udskiftning af varmforsyning	X*
<b>Energiproduktion</b>	
Solvarmeanlæg til varmt brugsvand og evt. rumvarme	X
Solcelleanlæg til e,-produktion	X

\* Disse tiltag kan ikke kombineres med andre tiltag og kan kun beregnes simpelt, hvis det er et enkeltstående tiltag. Ved kombination med andre tiltag skal det regnes som kombinerede tiltag.

I det omfang enkelttiltag eller kombinationer heraf påvirker klimaskærmens tæthed eller det termiske indeklima, skal der foretages separate detaljerede analyser heraf (Be18 eventuelt suppleret med dynamiske analyser).

## Andet byggeri

Tabel 3 viser en oversigt over indbyrdes uafhængige tiltag for andet byggeri. Årsagen til at der er forskel på hvilke tiltag der kan regnes som uafhængige enkelttiltag for hhv. boliger og andet byggeri er bl.a., at man i andet byggeri medtager elforbruget til belysning. Her vil fx udskiftning af vinduer påvirke belysningen i bygningen.

Tabel 3. Liste over enkelttiltag ved energirenovering af byggeri, herunder kontor, skoler og institutioner.

Tiltag	Uafhængig
<b>Klimaskærm</b>	
Efterisolering af en mindre del af ydervæggens areal	X
Efterisolering af tag	X
<b>Installationer</b>	
Udskiftning af pumper	X
Efterisolering af rør	X
Udskiftning af ventilationsaggregater og udsugningsventilatorer	X
Udskiftning af kedel til samme brændsel	X*
Belysningsanlæg	se nedenfor
<b>Energiproduktion</b>	
Solvarmeanlæg til varmt brugsvand og evt. rumvarme	X
Solcelleanlæg til el-produktion	X

\* Disse tiltag kan ikke kombineres med andre tiltag og beregnes som enkelttiltag.

I det omfang enkelttiltag eller kombinationer heraf påvirker tæthed eller indeklima skal der foretages separate detaljerede analyser heraf (Be18 evt. suppleret med dynamiske analyser).

I forbindelse med renovering og/eller udskiftning af belysningsanlæg er det muligt at regne dette som et simpelt tiltag. Ved beregning af den forventede

energibesparelse vil denne dog kun omfatte el-besparelsen for belysningsanlægget. Vurderingen af den samlede energibesparelse vil derfor være upræcis, idet det forventede forøgede varmebehov ikke tages i regning.

## Kombinerede tiltag

Kombinerede tiltag defineres som tiltag, der når de gennemføres sammen, indbyrdes påvirker de opnåede energibesparelser. Dette kan for eksempel være udskiftning af vinduer kombineret med etablering af mekanisk ventilation.

Kombinerede tiltag påvirker hinanden i en grad, så energibesparelserne ikke uden videre kan adderes.

### Bolig

Kombinationer indeholdende afhængige tiltag og/eller elementer, der ikke er nævnt i Tabel 2, skal regnes som kombinerede tiltag. Eksempler på sådanne kombinationer kan være:

- Udskiftning af fordelingsanlæg (radiator til gulvvarme – luftvarme til vandbåret varmesystem)
- Etablering af mekanisk ventilation
- Geometriske ændringer
- Ændring af glasarealer.

### Andet byggeri

Kombinationer af afhængige tiltag og/eller elementer, der ikke er nævnt under enkelttiltag i Tabel 3, skal regnes som kombinerede tiltag. Eksempler på sådanne kan være:

- Udskiftning af fordelingsanlæg (radiator til gulvvarme)
- Etablering af ventilation (herunder naturlig ventilation)
- Geometriske ændringer (fx tilbygninger eller ombygning)
- Udskiftning af ruder/vinduer
- Ændring af glasarealer
- Etablering af solafskærmning
- Ændring af ventilationsmængder
- Etablering af køling
- Udskiftning af belysningsanlæg
- Etablering af styring og regulering på belysningsanlægget.

# Metodebeskrivelser

I dette afsnit beskrives de fire metoder til energiberegninger fra Tabel 1 (gengivet herunder), og der gives en kort introduktion til beregningsværktøjer, inklusiv deres begrænsninger og eventuelt tilpasninger.

Gengivelse af Tabel 1. Beregningsmetoders og -værktøjs anvendelse i forhold til forskellige renoveringsomfang.

	Enkelt tiltag	Kombinerede tiltag
Simpel beregning (estimat)	Graddage $E_{ref}$	Be18
Avanceret beregning	Korrigeret graddage Korrigeret $E_{ref}$ El-besparelse	Alle tiltag Be18: Energi (udvidet) Kvalificeret med eksisterende forbrug Kvalificeret med detaljeret viden om anvendelse og belastninger Ventilation kvalificeret med supplerende analyser af luftmængder og SEL og hhv. vinter og sommer

## Enkelttiltag

### Simpel beregning

Klimaskærm  
*Graddage*

Beregning af energibesparelse baseres på graddøgnmetode. Som gennemsnit kan benyttes 3.765 graddage/år – eller 90.360 gradtimer.

U-værdi før/efter renovering beregnes, og derefter beregnes energibesparelsen:

$$(U_{før} - U_{efter}) \times 90,36 \text{ [kWh/år pr. m}^2\text{]}.$$

Metoden kan anvendes i bygninger med opvarmingsbehov i perioden medio september til medio maj og ved en rumtemperatur på 20 °C. Såfremt indetemperaturen afviger fra dette, skal antallet af graddage/gradtimer korrigeres, se Bilag 5 for uddybning.

Vinduer og ruder  
 $E_w$

Beregning af energibesparelse baseres på beregning af energibalancen for vinduer  $E_w$ . Følgende formler benyttes i forhold til vinduets orientering:

$$\text{Nord: } E_w = 104,5 \times g_w - 90,36 \times U_w \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

$$\text{Øst/vest: } E_w = 232,1 \times g_w - 90,36 \times U_w \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

$$\text{Syd: } E_w = 431,4 \times g_w - 90,36 \times U_w \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

$$\text{Ovenlys: } E_w = 345,0 \times g_w - 90,36 \times U_w \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

hvor

$g_w$  er vinduets g-værdi dvs. korrigeret for andel af ramme/karm og  $U_w$  er vinduets U-værdi



U-værdierne for vinduerne før/efter renovering beregnes/fastlægges, og derefter beregnes den samlede energibesparelse som forskellen på de nye og gamle vinduers samlede energibalance:  $\Delta E_{w, \text{efter}} - \Delta E_{w, \text{før}}$ . Metoden kan anvendes i bygninger med opvarmningsbehov i perioden medio september til medio maj og ved en rumtemperatur på 20 °C.

### Avanceret beregning

Klimaskærm  
Graddage  
(udvidet)

Beregning af energibesparelse baseres på en udvidet graddøgnsmetode. Heri er antallet af graddage eller gradtimer beregnet efter bygningens eller rummets aktuelle indetemperatur i fyringssæsonen, se Bilag 5 vedr. graddøgnsmetode. Hvis der ikke haves information om indetemperaturen, kan der anvendes værdier fra Tabel 4. Ud over dette er beregningsprincippet som for den almindelige graddagemetode.

Energibesparelsen korrigeres i forhold til eventuelt virkningsgrad på opvarmningssystemet (fx kedelvirkningsgraden).

Metoden kan anvendes til årlige energiberegninger i bygninger med opvarmningsbehov.

Vinduer  
 $E_w$  (udvidet)

Beregning af energibesparelse baseres på en udvidet beregning af energibalancen for vinduer,  $E_w$ , se evt. metodebeskrivelse i afsnit *Simple beregning*. Heri er antallet af gradtimer beregnet efter bygningens/rummets aktuelle indetemperatur i fyringssæsonen. Ud over dette er beregningsprincippet som for den almindelige beregning af energibesparelse.

Energibesparelsen korrigeres i forhold til evt. virkningsgrad på opvarmningssystemet.

Metoden kan anvendes til årlige energiberegninger i bygninger med opvarmningsbehov (såfremt solindstrålingsdata kan findes for perioden).

Ventilationsanlæg

Beregning af energibesparelse baseres på registrering af specifikt elforbrug til lufttransport (SEL-værdi) og effektivitet af varmeveksler før renovering samt estimeret elforbrug og effektivitet af varmeveksler efter renovering.

Elforbrug til lufttransport baseres på kvalificeret viden om luftmængder for ventilationsanlægget samt tilhørende effektforbrug. Effektivitet af varmeveksler baseres på måling af lufttemperatur i indtag og afkast, hvoraf varmegenvindingsgraden kan udregnes.

## Kombinerede tiltag

### Simpel beregning

Alle tiltag

Be18

Beregning af energibesparelse baseres på en beregning foretaget i programmet Be18. I beregningsprogrammet opbygges en model af det aktuelle rum/bygningsudsnit eller bygning inklusiv beskrivende parametre for konstruktioner (U-værdier) og installationer. I øvrigt forudsættes standardforudsætninger, jf. SBI-anvisning 213 – *Bygningers energibehov* (Aggerholm og Grau, 2014) med undtagelse af parametre nævnt i Tabel 4.

### Avanceret beregning

Alle tiltag

Be18 (udvidet)

Beregning af energibesparelse baseres på en beregning foretaget i programmet Be18. I beregningsprogrammet opbygges en model af det aktuelle rum/bygningsudsnit eller bygning inklusiv beskrivende parametre for konstruktioner (U-værdi) og installationer. Modellen suppleres med data for aktuelle forhold eller ved anvendelse af standardforudsætninger (Tabel 4), se evt. også næste afsnit *Fastlæggelse af baseline*.

Ventilationsmængder er kvalificeret med forbedret data for luftmængder baseret på indeklimasimuleringer med eksempelvis BSim. Interne varmelaster (personer og udstyr) kvalificeres med forbedret data i forhold til antal personer samt mængden af varmeafgivende udstyr. Specifikt kan man under de detaljerede forbrug i Be18 se betydningen af ændringen i indtastninger, således den ønskede justering kan opnås.

Der skal udføres en følsomhedsanalyse af resultaterne i forhold til kritiske inddata.

Metoden kan anvendes i alle bygningstyper.

## Fastlæggelse af baseline

Be18 modellen for et renoveringsprojekt kan med fordel kalibreres med det aktuelle forbrug, så der opnås et mere retvisende energiforbrug før renovering. Når der arbejdes videre med den tilpassede model, kan den benyttes som udgangspunkt til beregning af den forventede energibesparelse efter renoveringen.

Baseline defineres i nærværende sammenhæng som energibesparelsen, dvs. forskellen i energiforbruget fra før- til efter-situationen.

Det første skridt ift. at fastlægge baseline, er at opbygge en model af bygningen før renoveringen. Modellen opbygges med udgangspunkt i viden om den konkrete bygning, og i udgangspunktet sættes indetemperatur og interne varmelaster til standardværdierne for den pågældende type byggeri jf. SBI-Anvisning 213, dvs. indetemperatur på 20 °C samt internt varmetilskud på hhv. 5 W/m<sup>2</sup> for boliger og 10 W/m<sup>2</sup> for andre bygninger. De øvrige dele af input til modellen kan fastsættes på baggrund af de respektive afsnit i nærværende branchevejledning.

Hvis elforbruget i bygningen er kendt (fx målt over en årrække), justeres modellen således at der bliver overensstemmelse mellem det målte og beregnede elforbrug, dvs.:

- Tilpas værdien: *Internt varmetilskud* → *App. (W/m<sup>2</sup>)*
- Indtil: *Nøgletal* → *Totalt elforbrug* matcher det målte forbrug.

Det interne varmetilskud fra personer *Internt varmetilskud* → *Personer (W/m<sup>2</sup>)* kan bestemmes, hvis man har informationer om antallet af personer og samtidigheden ift. tilstedeværelse (se evt. eksempel i Bilag 2).

Sidste skridt i kalibreringen af modellen er, at få modellens varmeforbrug til at matche det målte varmeforbrug. I den forbindelse kan man justere forbruget af varmt brugsvand, hvis forbruget er kendt. Hvis ikke forbruget af varmt brugsvand er kendt anvendes standardværdier (dvs. 250 l/m<sup>2</sup> for boliger og 100 l/m<sup>2</sup> for andet).

I Be18-modellen justeres indetemperaturen:

- Tilpas værdien: *Rediger* → *Temperaturer...* → *Opvarm.*
- Indtil varmeforbruget: *Nøgletal* → *Bidrag til energibehovet* → *Varme* matcher det målte varmeforbrug for bygningen.

Hermed opnås en kalibreret model af bygningen før energirenoeringen, hvor både elforbruget og varmeforbruget matcher de tilsvarende målte forbrug. Ud fra denne model udarbejdes der nu en ny model, der afspejler den planlagte energirenoering således at den forventede energibesparelse kan fastlægges. Den energibesparelse som hermed er beregnet, svarer til energirenoeringens *baseline*. Et eksempel på anvendelse af metoden findes i Bilag 2.

## Standardforudsætninger

I Tabel 4 er opstillet standardforudsætninger for beregning af det reelle energiforbrug. Det vil sige værdier, som kan anvendes, hvis der ikke eksisterer kvalificeret viden, målinger eller lignende for de pågældende parametre.

Tabel 4. Standardforudsætninger for beregning af energiforbrug og energibesparelser i forbindelse med energirenoering af bygninger.

	Bolig	Andet
Brugstid:	168 timer/uge	50 timer/uge
Internt varmetilskud:	1,5 W/m <sup>2</sup> for personer og 3,5 W/m <sup>2</sup> for apparatur	W/m <sup>2</sup>
		Cellekontor 6,75
		Storrumskontor 7,2*
		Møderum 27
		Undervisning 31,5
Varmt brugsvand:	41 l/person pr. dag	Skoler, universiteter: 6 l/person pr. dag Kontorer: 8 l/person pr. dag
Indetemperatur:	20 °C	22 °C

\* Eks. de 7,2 W/m<sup>2</sup> fremkommer som: 90 W/person × 80 % samtidighed/10 m<sup>2</sup>/person.

I det omfang brugeradfærd fordrer, at udstyr er tændt uden for brugstiden, bør dette afspejle sig i beregningerne, så der medtages en varmelast fra udstyr uden for almindelig brugstid.

## Parametre og usikkerheder

Hvis der skal gennemføres en mere detaljeret og nøjagtig fastlæggelse af energiforbruget før/efter energirenovering – og dermed den forventede energibesparelse – skal de væsentlige inputparametre i beregningerne kvalificeres. Hvilke parametre, der er relevante at kvalificere, vil afhænge af den konkrete energirenovering. En følsomhedsanalyse viser, hvilke parametre, der har størst indflydelse på resultaterne, se afsnit *Følsomhedsanalyse*.

### Usikkerheder

Der skal tilknyttes usikkerheder til alle de parametre, der indgår i energiberegningerne. Usikkerheden udtrykker, hvor veldefineret parameteren er bestemt. Formålet med at vurdere usikkerheden på parametrene er, dels at få et spænd for usikkerheden for energiberegningen, og dels at vurdere effekten af at kvalificere udvalgte parametre yderligere.

Nogle usikkerheder kan reduceres ved en mere tilbunds gående undersøgelse af de eksisterende forhold. Det gælder hovedsagelig for drift og installationer, hvor usikkerheden kan minimeres ved en højere grad af inspicering samt måling af installationerne og deres performance.

I forbindelse med en renovering skal resultaterne af energiberegninger dokumenteres sammen med usikkerheden.

Betydningen af usikkerheden illustreres med et eksempel. I en kontorbygning er der foretaget en beregning af bygningens forventede energiforbrug til varme og el med beregningsprogrammet Be18. Der betragtes 3 scenarier med forskellig usikkerhed på ventilationen med udgangspunkt i Tabel 6.

For hvert scenarie er beregnet baseline. Figur 3 viser det forventede energiforbrug samt usikkerheder for hvert af de 3 scenarier. Resultaterne for energiforbruget til varme ses under hvert scenarie.

#### *Scenarie 1, usikkerhed på $\pm 40\%$ for vurderet luftmængde,*

Her antages, at beregning af energiforbruget er baseret på et meget sparsomt grundlag for ventilationsanlægget. Luftmængderne er anslået uden målinger. Ved besigtigelsen er det konstateret, at der er varmegenvinding, men effektiviteten er ikke vurderet. SEL-værdi for ventilationsanlæg er skønnet ud fra luftmængde. For den konkrete kontorbygning skønnes en middelluftmængde på 12.000 m<sup>3</sup>/time, dvs. i forhold til usikkerhed forventes middelluftmængden at være mellem 7.200 m<sup>3</sup>/time og 16.800 m<sup>3</sup>/time. Denne usikkerhed på ventilationen fører til et spænd for varmeforbruget på 436 kWh/m<sup>2</sup> til 658 kWh/m<sup>2</sup>.

#### *Scenarie 2, usikkerhed på $\pm 25\%$ for målt luftmængde og vurderet drift*

I dette tilfælde er beregningen af energiforbruget baseret på en overfladisk gennemgang af ventilationsanlægget. Luftmængden er målt i hovedkanalen. Ved besigtigelsen er det konstateret, at der er varmegenvinding, men effektiviteten er ikke vurderet. SEL-værdien for ventilationsanlæg er skønnet i forhold til målte luftmængder. For den konkrete kontorbygning er der målt en middelluftmængde på 15.000 m<sup>3</sup>/time, dvs. i forhold til usikkerhed forventes middelluftmængden at være mellem 11.250 m<sup>3</sup>/time og 18.750 m<sup>3</sup>/time.

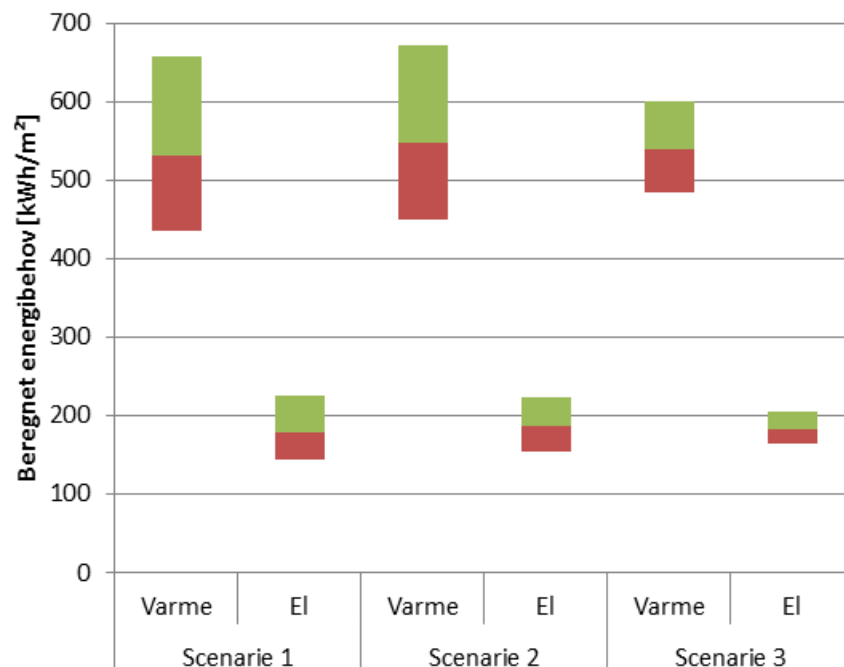


Denne usikkerhed på ventilationen fører til et spænd for varmekonsumet på 449 kWh/m<sup>2</sup> til 673 kWh/m<sup>2</sup>.

*Scenarie 3, usikkerhed på  $\pm 5\%$  for målt luftmængde og verificeret driftstid*

Her baseres beregning af energiforbruget på en dybtgående gennemgang af ventilationsanlægget. Luftmængderne og driftstiderne er bestemt ved repræsentative målinger. Varmegenvindingsgrad er målt. SEL-værdi for ventilationsanlæg er målt, og bygningens tæthed, og dermed infiltrationen er målt med en Blower-Door-test. For den konkrete bygning er der målt en samlet middelluftmængde på 13.300 m<sup>3</sup>/time. I forhold til usikkerhed forventes den reelle middelluftmængde at være mellem 12.600 m<sup>3</sup>/time og 14.000 m<sup>3</sup>/time. Denne usikkerhed på ventilationen fører til et spænd for varmekonsumet på 483 kWh/m<sup>2</sup> til 602 kWh/m<sup>2</sup>.

Figur 3 viser det beregnede energiforbrug inklusive minimum og maksimum for usikkerhederne for de tre scenarier. På tilsvarende måde vises bygningens forventede elforbrug i de tre scenarier. Det giver en indsnævring af usikkerheden for resultatet ved brug af scenarie 2 og 3 frem for scenarie 1.



Figur 3. Beregnet energiforbrug for tre scenarier af beregninger, hvor usikkerheden indsnævres ved højere grad af inspicering og målinger i bygningen.

Resultaterne viser, at der ved kvalificering af beskrivende parametre for installationer kan opnås en indsnævring af usikkerheden. I dette eksempel ses en reduktion i intervallet for usikkerheden. Hvor scenarie 1 har et interval på 222 kWh/m<sup>2</sup> og så har scenarie 2 et interval på 224 kWh/m<sup>2</sup>, hvilket er en forøgelse, som skyldes forøgelse af middelværdien. I scenarie 3 reduceres intervallet for usikkerheden til 118 kWh/m<sup>2</sup>, som næsten er en halvering af usikkerheden og som følge heraf opnås et mere sikkert estimat for det samlede energibehov.

### Parametre

I det følgende gennemgås de enkelte inputparametre, og hvordan de kan kvalificeres. Der er sat fokus på kontorbyggeri, fordi det oftest vil være mere vanskeligt at kvalificere parametre og usikkerheden for denne type byggeri. Usikkerheder beskrives først overordnet, mens der under nogle af parametrene ligeledes angives specifikke forslag til vurdering af usikkerheder.

## Arealer

Det opvarmede etageareal bestemmes efter Bygningsreglementets regler. Allerede her kan det være en fordel at opdele arealerne i zoner, så dele af bygningen med samme brug (kontor, storrumskontor, mødelokale, gang-areal m.m.) fastlægges.

Uopvarmede rum, fx kældre eller lignende, medtages i beregningen.

Arealer af bygningsdele fastlægges på baggrund af retningslinjer i DS 418 for bestemmelse af transmissionsarealer.

I forbindelse med mange energirenoveringer vil man øge det opvarmede etageareal for bygningen, enten indirekte som forøgelse af bruttoarealet ved udvendig isolering, eller direkte, ved at tidligere uopvarmede arealer (altaner, loftsrum mv.) inddrages i det opvarmede etageareal.

I den forbindelse skal man være opmærksom på, at man i beregningen af "efter"-situationen ikke får øget varmeafgivelsen fra personer og udstyr samt forbruget af varmt brugsvand, medmindre der er tale om en forøgelse af fx antal personer. Hvis det opvarmede etageareal fx øges med 10 % bør man tilsvarende reducere værdierne for de interne varmetilskud og det varme brugsvand, således at forholdene totalt set er ens i beregningerne før og efter energirenoveringen.

## Konstruktioner

Konstruktioners opbygning, isoleringsgrad og dermed U-værdier m.m. har væsentlig betydning for bygningens energiforbrug og dermed også for besparelspotentialet i forbindelse med for eksempel efterisolering. Konstruktionernes opbygning kan ikke altid fastlægges ved besigtigelse eller gennemgang af eventuelt tegningsmateriale. Dermed kan der være behov for at benytte et kvalificeret skøn baseret på erfaringer eller tidstypiske konstruktioner. I det følgende er givet et eksempel på, hvordan U-værdien kan fastlægges for en konstruktion, som ikke umiddelbart kendes. Der er anvendt data fra *Håndbog for Energikonsulenter*.

*Eksempel: Træbjælkelag med gulv i loftrum; bygning – 1960*

Det forudsættes, at bjælkelaget ikke er tilgængeligt og at der muligvis er indblæst isolering under gulv.

Tabel 5 viser, at den gennemsnitlige U-værdi for konstruktionen er 0,82 W/m<sup>2</sup>K og samtidig er spredningen et udtryk for, hvor stor en usikkerhed, der er på værdien. Ved at gennemføre en beregning for hvert af de tre tilfælde ('maks.', 'middel' og 'min.'), kan man fastlægge usikkerheden på beregningen af den forventede besparelse.

Tabel 5. U-værdier for forskellige typiske etageadskillelser med træbjælkelag, hvor der er regnet middelværdi og spredning. Kilde: *Håndbog for Energikonsulenter*.

Beskrivelse	U-værdi
Spær eller bjælkelag, uisolert	1,47
Spær eller bjælkelag, indskudsbrædder og lerindskud	0,93
Spær eller bjælkelag, indskudsbrædder, lerindskud og loftbrædder	0,78
Spær eller bjælkelag, 25 mm isolering	0,82
Spær eller bjælkelag, 50 mm isolering	0,57
Maks.	1,47
Median	0,82
Min.	0,57
Spredning	0,34

Lignende metode kan anvendes for andre typer konstruktioner. Det bemærkes i øvrigt, at man i forbindelse med efterisolering af eksisterende konstruktioner, kan påvirke omfanget og tilstedeværelsen af kuldebroer i bygningen. Dette skal der naturligvis tages højde for i vurderingerne.

### **Brugstid**

Brugstiden for bygningen kendes måske allerede eller kan kortlægges på baggrund af bygningens brugsmønster inden energirenoveringen. Det er vigtigt, at der tages hensyn til både den almindelige brugstid for bygningen, men også den brugstid, der ligger ud over almindelig arbejdstid (rengøring, særlige arrangementer m.m.)

Hvis brugsmønstret ændres i forbindelse med energirenoveringen, fx i forbindelse med at bygningen overtages af en ny lejer eller skifter anvendelse, er det vigtigt at fastlægge den forventede nye brugstid i bygningen så præcist som muligt. Det anbefales, at inddrage den nye bruger i fastlæggelsen af brugstiden.

### **Ventilation**

Hvis ikke der er information tilgængelig vedrørende ventilationssystemet, kan man anvende samme metode, som for konstruktioner, dvs. ved at antage typiske forhold for bygninger fra bestemte perioder. Data kan findes i *Håndbog for Energikonsulenter*. Dette er dog forbundet med væsentlige usikkerheder, og derfor bør man så vidt muligt fastlægge hvilken type system, der er tale om, for eksempel naturlig ventilation, mekanisk udsugning eller balanceret mekanisk ventilation evt. med varmegenvinding, og hvor store luftmængder, der fjernes/tilføres, samt hvor utæt bygningens klimaskærm er.

Beregning af energiforbrug og -besparelse baseres på vægtede middelværdier for varmegenvinding, luftmængder og SEL-værdier over henholdsvis opvarmningsperiode og sommerperiode. Bestemmelse af middelværdier for luftmængder og SEL-værdi kræver detaljeret viden om ventilationen ved fuld- og dellast samt detaljeret viden om regulering og styring over året. For at opnå stor sikkerhed bør luftmængder og driftsforhold belyses med spotmålinger af maksimale luftmængder og længerevarende målinger over alle repræsentative driftsforhold, da det er nødvendigt for at belyse variationen i driftsforhold. Alternativt kan driftsforholdene bestemmes ud fra dynamiske indeklima-analyser af typiske rum og orienteringer. Ved ekstrapolation af resultaterne fra disse beregninger kan der dannes et billede af hele bygningens driftsforhold, og dermed kan vægtede middelværdier for luftmængder og SEL-værdier bestemmes.

Tabel 6. Parametre og variationer til vurdering af usikkerhed for ventilation i forbindelse med energirenovierung af bygninger.

Parameter	Parametervariation	
Middelluftmængder ( $Q_m$ , $Q_{m,s}$ )	Luftmængder bestemt uden målinger	± 40 %
	Luftmængde bestemt ved anlæg (måling) – vurderet drift VAV inkl. Simpel VAV	± 25 %
	Luftmængde bestemt ved anlæg (måling) – vurderet drift CAV	± 15 %
	Luftmængder og drift ved repræsentative dynamiske analyser	± 10 %
	Luftmængder og drift ved repræsentative målinger	± 5 %
Varmegenvinding	Vurdering	± 20 %
	Måling i opvarmningssæson (udetemp. maks. 5 grader)	± 5 %
SEL-værdi	Vurderet i forhold til vurderet luftmængde	± 25 %
	Vurderet i forhold til målt luftmængde	± 15 %
	Målt værdi	± 5 %
Infiltration	Vurderet	± 30 %
	Målt med BlowerDoor-test	± 5 %

I det omfang driftstider for anlæg er længere end den for bygningen ellers forudsatte brugstid skal anvendelsesfaktoren  $F_0$  korrigeres i forhold hertil. For eksempel  $F_0 = 1,1$ , hvis ventilationsanlæggene starter en time inden medarbejderne møder, og måske samtidig har et efterslæb fra de har forladt bygningen.

I forbindelse med registrering af eksisterende anlæg inkluderes en vurdering af driften af eventuel recirkulation og den reelle effektivitet af eventuel varmegenvinding.

### Internt varmetilskud

Det interne varmetilskud fra personer og udstyr har væsentlig betydning for bygningens varmebalance. I sommerperioden kan et stort internt varmetilskud medføre overtemperaturer og behov for køling, mens det om vinteren kan medvirke til opvarmning af bygningen, og dermed en reduktion af den varmemængde, der skal leveres af varmeanlægget.

Der angives lavere anbefalinger til varmeafgivelse i denne branchevejledning end i Branchevejledningen for indeklimaberegninger. Det skyldes, at Branchevejledningen for indeklimaberegninger fokuserer på dimensionerende forhold, altså hvor stor en varmebelastning bygningen skal dimensioneres til. Omvendt gælder det for Branchevejledningen for energiberegninger, at energiberegningerne ofte bruges til at bestemme en forventet energibesparelse, hvor et højt varmetilskud vil reducere opvarmningsbehovet. Rationalet er derfor, at dimensionering af indeklima bør baseres på overvurdering af det interne varmetilskud, mens det for energiberegninger bør undervurderes, for at sikre at resultaterne bliver på den sikre side.

For personer kan der regnes med et internt varmetilskud på 90 W/person. I fx kontorbygninger, er det nødvendigt at tage hensyn til at ikke alle personer er til stede på samme tid. Dette kan gøres ved at gange en faktor på varmetilskuddet svarende til tilstedeværelsen for hver person, se Tabel 8.

For udstyr laves en samlet opgørelse for bygningen. Heri tages der hensyn til alt elektrisk udstyr, som afgiver varme til omgivelserne, dvs. computere, skærme, printere, kopimaskiner, køkkenmaskiner osv. Ligesom for personer skal der tages hensyn til den relative driftstid af udstyret i forhold til bygningens brugstid.

Tabel 7. Eksempler på typiske varmeafgivelser fra udstyr og personer.

Personer/udstyr	Elforbrug
Person	90 W
Bærbar computer:	30 W
PC-skærm:	20-40 W
Stationær computer:	80 W
Arbejdslampe:	1 W/m <sup>2</sup>

Tabel 8. Eksempler på typiske persontætheder og samtidigheder i forskellige rumtyper.

	Persontæthed	Samtidighed
Cellekontor	12 m <sup>2</sup> /pers.	90 %
Storrumskontor	10 m <sup>2</sup> /pers.	80 %
Møderum	3 m <sup>2</sup> /pers.	60 %
Undervisning	3 m <sup>2</sup> /pers.	70 %

## Belysning

Elforbruget til almenbelysning bestemmes ud fra den installerede effekt og driftstiden under hensyn til styringen af belysningen. Ved bestemmelse af den installerede effekt indgår også elforbruget til for eksempel forkoblinger og automatik. Den faktiske driftstid for almenbelysningen antages at afhænge af dagslystilgang. Ved bestemmelse af elforbruget kan rummene opdeles i belysningszoner med forskellig dagslystilgang, fx afhængigt af arbejdspladsernes placering og belysningsanlæggets zoneopdeling. Ved installation af dagslysstyring i eksisterende ejendomme bør der foretages en analyse af, i hvilket omfang bygningens eksisterende dagslysforhold reducerer effekten af dagslysstyring.

Data for eksisterende anlæg bestemmes mest korrekt ved registrering af typer og omfang. Hvis det ikke er muligt at fastlægge belysningen i bygningen, kan der anvendes samme metode som for konstruktioner, dvs. at indtastningen baseres på data fra *Håndbog for Energikonsulenter*. Denne metode er dog forbundet med meget store usikkerheder.

I forbindelse med renovering af belysningsanlæg konstateres ofte, at eksisterende anlæg ikke realiserer et belysningsniveau i de enkelte rum, som lever op til normkrav. Derfor kan det forekomme, at energiforbruget til belysning reelt stiger i forbindelse med renovering. Det forøgede energiforbrug kan i den forbindelse henføres til forbedret komfort.

## Andet elforbrug

Elforbruget til for eksempel udendørs belysning, elevatorer m.m. indgår ikke direkte i den almindelige Be18-beregning, men de enkelte forbrug bør medtages i den samlede opgørelse for bygningen. Fastlæggelse af individuelle forbrug kan typisk foretages ved besigtigelse af systemerne og vurdering af brugsmønstre.

Der findes for eksempel en standard *DS/EN ISO 25745-1:2012* (Dansk Standard 2012), hvoraf det forventede energiforbrug til elevatorer i en bygning kan beregnes.

## Køling

Hvis der er installeret mekanisk køling i bygningen, indtastes de relevante data for anlægget i beregningen. Det bør undersøges, hvorvidt anlægget

fortsat yder den effektivitet, som er opgivet ved installeringen som kvalificering af data.

## Varmefordelingsanlæg

Rørlængder, placering og isoleringsgrad fastlægges ved besigtigelse. Hvis besigtigelse ikke er mulig, kan rørlængder normalt bestemmes med hjælp af formlerne angivet i Tabel 9 og Tabel 10.

Tabel 9. Varmefordelingsrør i enfamiliehuse – ført utilgængeligt, *Håndbog for energikonsulenter*.

Rør ført i terrændækket under isoleringslaget:	
1-streng	$2 \times \text{Bygningslængde} + 2 \times \text{Bygningsbredde}$
2-streng	$4 \times \text{Bygningslængde} + 2 \times \text{Bygningsbredde}$
Rør ført i krybekælder/loft:	
1-streng	$2 \times \text{Bygningslængde} + 2 \times \text{Bygningsbredde}$
2-streng	$2 \times \text{Bygningslængde} + 4 \times \text{Bygningsbredde}$
Rør ført i fordelingsgrav (rørgrav):	
$2 \times \text{Længde af rørgrav}$	
Rør i skunkrum:	
$2 \times \text{Længde af skunkrum}$	

Tabel 10. Varmefordelingsrør i etageejendomme – ført utilgængeligt, *Håndbog for energikonsulenter*.

Rør ført i terrændækket under isoleringslaget:	
1-streng	$2 \times \text{Bygningslængde} + 2 \times \text{Bygningsbredde}$
2-streng	$4 \times \text{Bygningslængde} + 2 \times \text{Bygningsbredde}$
Rør ført i krybekælder/loft:	
1-streng	$2 \times \text{Bygningslængde} + 2 \times \text{Bygningsbredde}$
2-streng	$2 \times \text{Bygningslængde} + 4 \times \text{Bygningsbredde}$
Rør ført i uopvarmet kælder (2-streng):	
$2 \times \text{Bygningslængde} + \text{Bygningsbredde} \times \text{Antal stigstregesæt (frem + retur)}$	
Rør ført i fordelingsgrav (rørgrav):	
$2 \times \text{Længde af rørgrav}$	
Rør i skunkrum:	
$2 \times \text{Længde af skunkrum}$	

Bemærk at bygningslængde og bygningsbredde regnes ved udvendige mål, og at der i opgørelsen kun indgår rør uden udetemperatur-kompensering samt rør uden for den opvarmede del af bygningen.

Varmetabskoefficienter for varmerør kan fastlægges ud fra tabeller i *Håndbog for Energiforsyning*.

## Pumper

Pumpetyper og driftsforhold angives for samtlige pumper i varmfordelingsanlægget. Der bør være opmærksomhed omkring driftstider på for eksempel backup-pumper og lignende. I øvrigt kan der findes eksempler på typiske pumper i *Håndbog for Energiforsyning*.

## Varmt brugsvand

Beholderstørrelse, fordeling og pumper indtastes. Varmetab fra varmtvandsbeholdere kan bestemmes af Tabel 11 og Tabel 12.

Tabel 11. Tab fra små varmtvandsbeholdere i W/K ekskl. tilslutninger, *Håndbog for energikonsulenter*.

VVB, liter	Ingen	Isolering			
		30 mm	30 mm PUR	50 mm PUR	100 mm
50	6,1	1,2	1,0	0,9	0,8
100	9,7	1,8	1,5	1,3	1,2
110 Metro	-	-	1,14	-	-
150	14,8	2,2	1,9	1,6	1,5
200	20,0	2,6	2,3	1,9	1,7
250 Sol	-	-	-	1,65	-
300 Sol	-	-	-	2,9	-

Tabel 12. Tab fra store varmtvandsbeholdere i W/K ekskl. tilslutninger, *Håndbog for energikonsulenter*.

VVB, liter	Ingen	Isolering			
		30 mm	30 mm PUR	50 mm PUR	100 mm
300	20,0	3,5	3,0	2,5	2,2
500	27,4	4,7	4,0	3,3	2,9
750	35,3	6,0	5,1	4,1	3,7
1.000	42,1	7,1	6,1	4,9	4,3
1.500	54,3	9,0	7,7	6,2	5,4
2.000	65,6	10,8	9,2	7,3	6,4
2.500	73,1	12,0	10,2	8,1	7,1
3.000	82,6	13,5	11,5	9,1	7,9
5.000	112,6	17,5	14,7	11,4	9,7
10.000	181,8	28,7	24,2	18,9	16,2

Varmetab fra varmtvandsrør kan bestemmes ud fra tabellerne i *Håndbog for Energiforbrug*.

Ved fastsættelse af forbrug af varmt brugsvand bør der tages hensyn til, om bygningen indeholder bade faciliteter eller industrikøkkener, og der bør være fokus på antallet af personer i bygningen frem for størrelsen af bygningen. Hvis ikke bygningen skifter anvendelse eller ejer/lejer i forbindelse med energirenoveringen, vil forbruget af varmt brugsvand formentlig være nogenlunde konstant, og dermed vil det ikke påvirke beregningen af energibesparelsen.

I Tabel 13 er der angivet typisk varmtvandsforbrug for forskellige bygningstyper. Disse tal kan anvendes, hvis varmtvandsforbruget for bygningen ikke er kendt.

Tabel 13. Varmtvandsforbrug i l/m<sup>2</sup> pr. år.

Bygningstype	Forbrug
Kontorer, administration og erhverv	30 ± 10
Skoler	50 ± 25
Enfamiliehuse og rækkehuse	250 ± 50
Etageejendom	250 ± 150

## Varmeinstallation

Varmeinstallationens effektivitet er væsentlig for energiforbruget til varmt brugsvand og varme i bygningen. Hvis ikke installationen er kendt, kan den fastlægges på baggrund af samme metode som for konstruktioner, dvs. ved at tage udgangspunkt i typiske varmeinstallationer fra *Håndbog for Energiforbrug*.



## **El- og varmeproduktion**

Eventuel el- eller varmeproduktion indtastes i beregningen. Hvis der er anlæg i drift inden energirenoveringen, bør disse om muligt efterses, så det kan fastlægges, om de yder det forventede.

## **Bygningsdrift**

Ved beregninger antages det generelt, at bygningen driftes optimalt. Det vil sige, at systemerne vedligeholdes og kalibreres, så de hele tiden fungerer optimalt i energiteknisk henseende. Samtidig antages det, at energiforbruget i bygningen overvåges, så eventuelle problemer opdages og rettes hurtigt og effektivt.

Særligt driftstider for anlæg og set-punkter for opvarmning, ventilation, køling og belysning er af væsentlig betydning for energiforbruget. Det bør sikres, at der er overensstemmelse mellem de reelle driftsforhold fastsat af CTS og det, der anvendes i beregningerne.

I forbindelse med følsomhedsanalysen kan der gennemføres nogle simple overslagsberegninger, som viser, hvor meget det påvirker bygningens samlede energiforbrug, hvis bygningen ikke driftes optimalt. Desto mere/flere komplekse systemer bygningen indeholder, desto større er risikoen (og mer-energiforbruget) ved fejlagtig eller mangelfuld drift.



# Følsomhedsanalyser

## Betydning af parametre

Når baseline er fastlagt, anbefales det at kvalificere resultatet yderligere ved hjælp af en følsomhedsanalyse for udvalgte inputparametre.

Formålet er at udvælge de parametre, der har størst indflydelse på resultatet af energiberegningen, og ved at variere disse parametre fastlægges resultatets følsomhed over for evt. forskelle mellem antagede og faktiske forhold. Dermed kan energiforbrug eller –besparelse angives som et forventet spænd for den samlede energiberegning frem for en enkelt værdi, og hermed illustreres beregningens følsomhed.

## Fremgangsmåde

Resultatet af baseline beregningen kan benyttes som udgangspunkt for følsomhedsanalysen. For at finde ud af, hvor robust resultatet er ift. en given parameter, fastsættes to ekstra inputværdier for parameteren, der henholdsvis antager en højere og en lavere værdi. Jo mere resultatet afviger fra baseline, jo mere følsomt er resultatet ift. den pågældende parameter.

Følsomhedsanalysen bør udføres for alle de parametre, som kan have væsentlig indflydelse på den forventede energibesparelse. I de fleste tilfælde vil det dreje sig om følgende parametre:

- Ventilation og lufttæthed
- Udetemperaturen
- Indetemperaturen
- Brugstid
- Internt varmetilskud
- Varmt brugsvand
- Konstruktioner
- Belysning

I Tabel 14 gives forslag til variationer af betydende parametre til brug for følsomhedsanalysen. Variationer for ventilation behandles særskilt, da den afhænger af usikkerheden på bestemmelsen af parameteren. Såfremt der for et konkret byggeri haves viden om de mulige variationer af de forskellige parametre, kan disse naturligvis anvendes i stedet.

Tabel 14. Parametre og variationer, som anvendes i følsomhedsanalysen for energiforbrug og energibesparelser i forbindelse med energirenovering af bygninger.

Parameter	Bolig	Andet
Brugstid:	-	± 10 %
Internt varmetilskud:	± 20 % totalt (fordeles relativt)	± 20 % totalt (fordeles relativt)
Varmt brugsvand:	± 30 %	± 20 %
Indetemperatur:	± 1 °C	± 1 °C
Vejr	2008 / 2010 vejrdato*	2008 / 2010 vejrdato*
	2608 / 3490 graddage	2608 / 3490 graddage

\* Der gennemføres to separate Be18-beregninger, hvor standard-vejrdato udskiftes med henholdsvis data fra 2008 og 2010, som var et henholdsvis varmt og koldt år. For simple beregninger kan de anførte graddage benyttes.

Generelt må der accepteres en vis usikkerhed hovedsagelig for de forhold, der er knyttet til brugervaner. Det skyldes, at de er vanskelige at fastlægge, og derfor må de blot accepteres i beregningerne, men netop derfor er det vigtigt at undersøge følsomheden i forhold til disse parametre.

#### *Ventilation*

Ventilationsmængder og –anlægsydelse har væsentlig betydning for energiforbruget i bygningen, og er ofte forbundet med relativt store usikkerheder. Derfor kan det være en stor fordel, hvis man i forbindelse med en renovering kortlægger ventilationen for bygningen inden renoveringen, og sørger for at eventuelle nye anlæg bliver indreguleret og testet grundigt efter renoveringen, så de kører optimalt og efter hensigten.

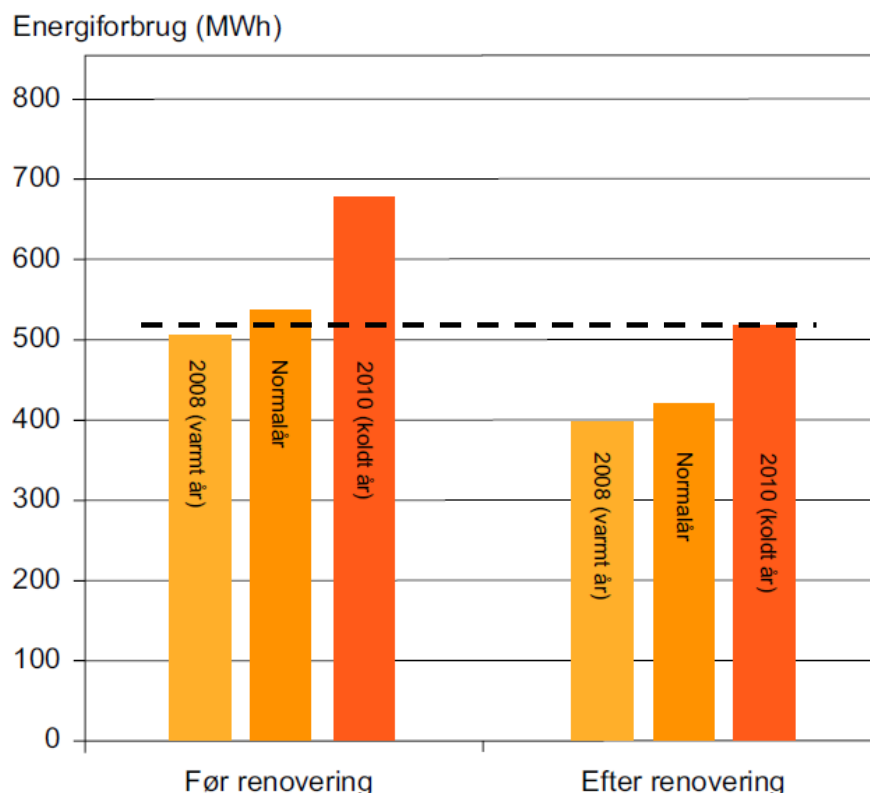
Der foretages en følsomhedsanalyse for ventilationen med parametre og variationer som anført i Tabel 6. Desto mere detaljeret viden, der haves om de faktiske forhold, desto mindre variation vil være nødvendig.

Der gennemføres to beregninger; én svarende til worst case, hvor energibesparelsen er lavere end baseline og én svarende til best case, hvor energibesparelsen er højere end baseline. Worst case vil fx svare til, at middelluftmængder er højere, varmegenvinding lavere, SEL-værdi højere og infiltration højere end for baseline, og omvendt for best case.

#### *Udetemperatur*

Udetemperaturen har stor betydning for varmekonsumet i bygningen, og den varierer en del fra år til år. Der foretages derfor beregninger med hhv. vejrdata fra 2008, som var et varmt år og vejrdata fra 2010, som var et koldt år. Beregningerne foretages ved at graddøgnskorrigere resultaterne som er opnået med de normale DRY-vejrdata, og det kan hermed fx også gøres for resultater som er fastlagt på baggrund af Be18. Beregningerne kan anvendes til at illustrere, hvor følsom energibesparelsen er over for udeklimaets variation, og dermed hvor meget energibesparelsen vil kunne svinge fra år til år.

Det er vigtigt at formidle udetemperaturens betydning for energibesparelsen til bygherre og brugere/beboere, da man vil kunne opleve, at en forventet besparelse helt udebliver i et koldt år. Figur 4 viser et eksempel, der illustrerer dette. Hvis beslutningen om energirenoveringen er truffet i 2008 og renoveringen udføres i 2009, så kan det målte forbrug i 2010 have samme størrelsesorden, som det målte energiforbrug før renoveringen. Dette skyldes udelukkende variationen i udetemperaturen.



Figur 4. Eksempel. Beslutning om energirenovering træffes i 2008, renovering udføres i 2009 og da man måler energiforbruget efter renoveringen i 2010, er forbruget det samme som blev målt i 2008. Den reelle gennemsnitlige besparelse kan fastlægges ud fra værdierne for normalåret.

#### *Indetemperatur*

Indetemperaturen har stor betydning for varmekonsumet i bygningen, og desto højere indetemperaturen er desto større energibesparelse opnås der ved en energirenovering. Hvis indetemperaturen ændres i forbindelse med renoveringen, enten fordi den hæves efter renoveringen, eller hvis den gennemsnitligt er lavere end forventet før renoveringen, kan det reducere energibesparelsen væsentligt (se evt. bilag 3 om prebound- og rebound-effekter).

Hvis der ikke findes registreringer af indetemperaturen før renoveringen kan denne vurderes ved at kalibrere før-modellen (se evt. bilag 2 om kalibrering af beregningsmodel). Det vil oftest kunne vurderes, om det er sandsynligt, at indetemperaturen stiger i forbindelse med en renovering, specielt hvis man har kendskab til temperaturen inden renoveringen.

#### *Internt varmetilskud*

Det interne varmetilskud fra personer og udstyr har væsentlig betydning for energiforbruget i bygningen. Dog påvirkes energibesparelsen kun, hvis tilskuddet ændres i forbindelse med en energirenovering. Dette kan eksempelvis være tilfældet, hvis der skiftes brugere/anvendelse, eller hvis der fx installeres ny belysning eller andet elforbrugende udstyr i forbindelse med renoveringen.

#### *Varmt brugsvand*

Varmt brugsvand har ligesom det interne varmetilskud betydning for energiforbruget i bygninger, men påvirker normalt ikke en forventet energibesparelse i særlig høj grad, hvis ikke forbruget ændres i forbindelse med renoveringen. Her kan det selvfølgelig have en betydning, hvis installationer udskiftes eller efterisoleres.

### *Konstruktioner*

Når der skal vurderes usikkerhed for konstruktioner kan man ikke blot variere U-værdierne med eksempelvis  $\pm 10\%$ . Det skyldes primært at U-værdier ikke er lineært afhængige af isoleringstykkelsen da de reduceres mest med den første isolering, mens effekten aftager med isoleringstykkelsen. Derfor er det nødvendigt med mere kendskab til opbygningen af konstruktionen for at vurdere følsomheden af denne. Der kan hentes hjælp i *Håndbog for energikonsulenter* til vurdering af mulige U-værdier for konstruktioner. I Bilag 1 gives et eksempel på, hvordan følsomheden for konstruktioner kan vurderes.

## Resultat af følsomhedsanalyser

Resultatet af følsomhedsanalysen kan præsenteres på forskellige måder, og resultaterne kan også efterbehandles for at give bygherre et mere overskueligt billede af følsomheden af den beregnede energibesparelse.

Den samlede vægtning af parametrene usikkerheder kan tilpasses til, hvad man vil bruge beregningerne til. Herunder er givet 3 forskellige forslag til hvordan resultatet af følsomhedsanalyserne fx kan præsenteres.

### 1. Simple tilgang

Energibesparelse udtrykkes som resultatet af baseline med tilhørende spænd fra følsomhedsanalysen.

### 2. Pragmatisk tilgang

Her benyttes den simple tilgang i en udvidet udgave, hvor man ved at frasortere de parametre, som har mindst betydning for resultatet, opnår en mere overskuelig præsentation af resultatet.

### 3. Probabilistisk tilgang

Her tildeles de forskellige udfald af følsomhedsanalysen sandsynligheder, og dermed kan man fastlægge den forventede besparelse med en større præcision og med et mindre spænd.

# Rapportering

De beregnede forventede energibesparelser inklusiv usikkerheder rapporteres, så det efterfølgende er muligt at identificere såvel registreringer, forudsætninger og beregningsmetode. Resultatet i form af energibesparelsen inklusiv usikkerheden på beregningen af denne skal også indgå i rapporteringen, som redegør for ændringer i funktionalitet, brug og indeklima.

Den samlede redegørelse adresserer også andre værdier opnået i forbindelse med renoveringen og beskriver således også andre elementer i renoveringen, hvad enten de påvirker energibehovet eller er andre sideeffekter, som fx forbedrede indeklimaforhold.

## Dokumentation

I forbindelse med beregning af den forventede energibesparelse ved energirenovering udføres dokumentation, som redegør for den betragtede bygnings energitekniske aspekter før og efter renovering, forudsætninger og metode anvendt ved beregningen samt de fundne resultater.

Dokumentationen skal omfatte de oplysninger, der fremgår af Tabel 15.

Tabel 15. Oversigt over oplysninger, som skal indgå ved dokumentation af den forventede energibesparelse ved en energirenovering.

Dokumentationsforhold	Beskrivelse
Bygningsdata	Benævnelse
	Adresse
	Areal, BBR
	Areal, opvarmet kælder
	Etagere over jord
Bygningstilstand før renovering	Beskrivelse af klimaskærm
	Beskrivelse af installationer
Registrering af forbrugs- og indeklimadata før renovering	Varmeforbrug, graddøgnskorrigeret
	El-forbrug til bygningsdrift
	El-forbrug, øvrigt
	Redegørelse for indeklimaets kvalitet
Gennemførte energitiltag	Beskrivelse af de gennemførte energitiltag
Anvendelse	Beskrivelse af bygningens anvendelse før og efter renovering
Redegørelse for anvendt beregningsmetode	Forudsætninger
	Resultater
Følsomhedsanalyse	Forudsætninger
	Resultater
Energiforbrug	Beregnet energiforbrug før renovering
	Beregnet energiforbrug efter renovering,
	inkl. følsomhedsanalyse af relevante parametre



## Opfølgning og funktionsafprøvning

For at realisere de beregnende energibesparelser er det vigtigt, at der først sikres en indkøring af systemerne, så de fungerer optimalt inden det vurderes om de forventede energibesparelser kan opnås. Der kan foretages performancetest af de installerede komponenter for at sikre, at de fungerer som planlagt. Performancetesten er en funktionstest, som afprøver funktionaliteten og effektiviteten af installationerne uden påvirkning fra brug af bygningen og personbelastning. Den tester således, om anlæggene performer, som de skal uafhængigt af brugen under de forudsætninger, der er aftalt. Se eksempelvis udgivelsen *Performance tests før AB-aflevering og Bygningsstyrelsens paradigmer for performancetest* (Bygningsstyrelsen 2014, 2017).

En performancetest skal foretages inden den renoverede bygning er afleveret og bør være en integreret del af energirenoveringsprojektet og dermed være indeholdt i udbudsmaterialet. Dette beskrives nærmere i SBI-anvisning 269 – *Energirenovering af større bygninger, metode og proces*.

En forudsætning for at leve op til de forventede energibesparelser er, at nye eller energirenoverede installationer og bygningen som helhed styres og reguleres som forudsat. Derfor er det afgørende, at driftspersonale (og brugere) får videregivet alle relevante oplysninger om energirenoveringsprojektet og at driftspersonalet undervises i at betjene installationerne. I den efterfølgende drift kan en energisignatur for bygningen hjælpe driften til hurtigt at opdage afvigelser fra normalen. Se bilag 6 for mere information om energisignatur.

## Evaluerings

Den sidste fase efter gennemførelse af en energirenovering er at følge op på de opnåede energibesparelser. Denne del fravælges ofte, men det kan være en god ide at gennemføre en opfølgning for bygherren, som dermed kan få klarlagt om den forventede energibesparelse opnås. Hvis den ikke opnås kan det efterfølgende analyseres, hvorfor energibesparelsen ikke opnås.

Når energirenoveringen er gennemført, og bygningen er taget i drift, gennemføres der en evaluering, hvor bygningens faktiske energiforbrug følges over en periode til sammenligning med det beregnede forbrug. Periodens længde vil afhænge af renoveringens omfang, kompleksiteten af bygningens systemer mv., men bør fortsættes indtil bygningens drift, og dermed energiforbrug, matcher de beregnede data.

I forhold til sammenligning af beregnet og målt forbrug skal der kompenseres for aktuelle vejrforhold og eventuelt anden faktisk brug af bygningen, hvis der eksempelvis er flere brugere end før renoveringen eller helt andre brugere.

# Litteraturhenvisninger

Anvisning om Bygningsreglement 2015, SBI-anvisning 258. Hansen, Ernst Jan de Place m.fl. 1. ed. København: SBI forlag, 2016. 438 p.

Bygningers energibehov. SBI-anvisning 213, 3. udgave. Aggerholm, Søren; Sørensen, Karl Grau. København: SBI forlag, 2014. 124 p.

Bygningsreglement 2015, BR15, Bekendtgørelse nr. 1028 af 30/06/2016. Bekendtgørelse af offentliggørelse af bygningsreglement 2015. København: Trafik og Byggestyrelsen.

Branchevejledning for indeklimaberegninger. Vorre, Mette Havgaard; Wagner, Mads Hulmose; Maagaard, Steffen Enersen; Noyé, Peter; Lyng, Nadja Lyng; Mortensen, Lone, InnoBYG. København: SBI forlag, 2017. 52 p.

Dansk standard, DS/EN ISO 25745-1:2012 Energieffektivitet for elevatorer, rulletrapper og rullefortov - Del 1: Energimåling og verifikation. Charlottenlund: Dansk Standard, 2012. 32 p.

Energirenovering af større bygninger: metode og proces. SBI-anvisning 269. Mortensen, Lone Hedegaard; Birck Laustsen, Jacob; Vorre, Mette Havgaard; Maagaard, Steffen Enersen; Kamper, Simon; Noyé, Peter. København: SBI Forlag, 2017. 95 p.

Håndbog for energikonsulenter (HB2016), Bekendtgørelse nr. 1759 af 15/12/2015. Tilgængelig på [www.retsinformation.dk](http://www.retsinformation.dk)

Performancetests før AB-aflevering. København: Bygningsstyrelsen, 2014.

Bygningsstyrelsens paradigmer for performancetest. 2017. Tilgængelig på [www.bygst.dk/viden-om/performancetest](http://www.bygst.dk/viden-om/performancetest)



# Bilag 1: Beregningseksempel

Som beregningseksempel for at bestemme forventede energibesparelser ved forskellige energirenoveringstiltag benyttes en etagebolig fra bebyggelsen Gadehavegård (se evt. case-beskrivelsen i Bilag 7, dvs. case 1). Bygningen er rektangulær, har et bruttoetageareal på 4.218 m<sup>2</sup>. Bygningen er i fire etager med fuld kælder på 1243 m<sup>2</sup>. Konstruktioner og isoleringstykkelser kan ses i case-beskrivelsen i Bilag 7.

Der er naturlig ventilation i hele huset i form af oplukkelige vinduer, fast indstillede aftræksventiler i bad og emhætte.

Bygningen forsynes med fjernvarme.

Bygningen har et målt årligt varmekonsum på 460 MWh; heraf kan ca. 139 MWh henføres til forbrug af varmt brugsvand. Bygningen har et samlet el-behov på 115 MWh – heraf kan ca. 17 MWh henføres til bygningsdrift (drift af ventilation, pumper m.m.). Resten af el-behovet skyldes privatforbrug i lejlighederne.

## Energibesparende tiltag

For etageboligen tænkes gennemført en række energibesparende tiltag, bl.a. tillægsisolering af ydervæg og loft, udskiftning af vinduer, opgradering af ventilation samt isolering af rør til distribution af varmt vand.

Med baggrund i metodebeskrivelse benyttes Be18 til vurdering af potentialet for energibesparelser ved energirenovering af etageboligen.

Som eksempel betragtes efterisolering af ydervægge. De eksisterende ydervægge vurderes at have en U-værdi på ca. 0,38 W/m<sup>2</sup>K ved balkoner og 0,57 W/m<sup>2</sup>K i øvrigt. Ved en udvendig efterisolering med 200 mm isolering reduceres U-værdien til hhv. 0,13 W/m<sup>2</sup>K og 0,14 W/m<sup>2</sup>K.

Implementeres dette enkeltstående tiltag forventes en reduktion i varmebehovet på 88,5 MWh/år beregnet med Be18.

På tilsvarende måde kan besparelspotentialet for øvrige enkelttiltag beregnes, se Tabel 1.1.

## Følsomhedsanalyse

For ydervæggene er det uklart hvilken type isoleringsmateriale der oprindeligt er anvendt og hvilken stand isoleringen er i.

I udgangspunktet er det antaget, at isoleringen i ydervæggen har en varmeledningsevne på 0,039 W/mK, og når ydervæggen så efterisoleres med 200 mm isolering, opnås en reduktion i varmebehovet på 17,8 kWh/m<sup>2</sup>/år (se evt. Tabel 1.1). Hvis den faktiske varmeledningsevne af isoleringsmaterialet i den eksisterende ydervæg er 0,041 W/mK, og den efterisoleres udvendigt med 200 mm isolering forventes i stedet en reduktion i varmebehovet på 15,3 kWh/m<sup>2</sup>/år.

## Kombination af tiltag

Kombineres flere energibesparende tiltag beregnes den forventede energibesparelse ved hjælp af Be18, som anført i afsnit *Beregningsvejledning*.

Vælges eksempelvis en samtidig energiteknisk opgradering af ydervæg, loft samt ventilationsanlæg beregnes den forventede energibesparelse, som vist i Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Beregning af besparelspotentiale ved kombination af flere forskellige enkelttiltag ved energirenovering af etagebolig.

Tiltag	Før renovering	Efter renovering	Besparelspotentiale [kWh/m <sup>2</sup> /år]
Efterisolering af fladt tag (250 mm isolering)	U-værdi: 0,18 W/m <sup>2</sup> K	U-værdi: 0,11 W/m <sup>2</sup> K	1,6
Efterisolering af ydervæg ved balkon (200 mm isolering)	U-værdi: 0,38 W/m <sup>2</sup> K	U-værdi: 0,13 W/m <sup>2</sup> K	17,8
Efterisolering af ydervæg i øvrigt (200 mm isolering)	U-værdi: 0,57 W/m <sup>2</sup> K	U-værdi: 0,14 W/m <sup>2</sup> K	
Udskiftning af vinduer	U-værdi: 2,93 W/m <sup>2</sup> K g-værdi: 0,76	U-værdi: 0,92 W/m <sup>2</sup> K g-værdi: 0,50	17,5
Installation af mekanisk ventilation med varme- genvinding	Mekanisk udsugning/ Naturlig ventilation	Varmegenvinding 80 % SEL-værdi: 1,0 kJ/m <sup>3</sup>	13,6 (varme) 1,0 (el)
Isolering af rør i varmt- vandssystem	Varmtvandsrør uden iso- lering	Varmtvandsrør med 60 mm isolering	10,1
I alt			57,9 (varme) 0,7 (el)

Det observeres, at den forventede energibesparelse ved implementering af alle fem tiltag er noget mindre end summen af de forventede energibesparelser for de fem individuelle tiltag. Det skyldes, at energibesparelserne for de enkelte tiltag påvirker hinanden, og i dette eksempel betyder det relativt meget.

## Bilag 2: Kalibrering af beregningsmodel ud fra målte data

Be18 modellen for et renoveringsprojekt kan med fordel kalibreres med det aktuelle forbrug, så der opnås et mere retvisende energiforbrug før renovering. Når der arbejdes videre med den tilpassede model, kan den benyttes som udgangspunkt for forventet energibesparelse efter renoveringen.

Baseline defineres i nærværende sammenhæng som energibesparelsen, dvs. forskellen i energiforbruget fra før- til efter-situationen.

Det første skridt ift. at fastlægge baseline, er at opbygge en model af bygningen før renoveringen. Modellen opbygges med udgangspunkt i viden om den konkrete bygning, og i udgangspunktet sættes indetemperatur og interne varmelaster til standardværdierne for den pågældende type byggeri jf SBI-Anvisning 213, dvs. indetemperatur på 20 °C samt internt varmetilskud på hhv. 5 W/m<sup>2</sup> for boliger og 10 W/m<sup>2</sup> for andre bygninger. De øvrige dele af input til modellen kan fastsættes på baggrund af de respektive afsnit i nærværende branchevejledning.

Hvis elforbruget i bygningen er kendt (fx målt over en årrække), justeres modellen således at der bliver overensstemmelse mellem det målte og beregnede elforbrug, dvs.:

- Tilpas værdien: *Internt varmetilskud* → *App. (W/m<sup>2</sup>)*
- Indtil: *Nøgletal* → *Totalt elforbrug* matcher det målte forbrug.

Det interne varmetilskud fra personer *Internt varmetilskud* → *Personer (W/m<sup>2</sup>)* kan bestemmes, hvis man har informationer om antallet af personer og samtidigheden ift. tilstedeværelse (se evt. eksempel på følgende side).

*Eksempel: Stengårdsskolen (se evt. bilag 7)*

*Stengårdsskolen har 350 elever og 35 medarbejdere. Det antages, at der er en samtidighed på 70 % (dvs. at der i hele bygningens brugstid er ca. 270 personer til stede) og at varmeafgivelsen fra personer i gennemsnit svarer til "stillesiddende", dvs. en varmeafgivelse på 80 W. Hermed bestemmes det interne varmetilskud fra personer som:*

$$385 \text{ personer} \times 70 \% \text{ samtidighed} \times 80 \text{ W} / 8837 \text{ m}^2 = 2,4 \text{ W/m}^2$$

*Det interne varmetilskud er i dette tilfælde noget lavere end standardværdien på 4,0 W/m<sup>2</sup>, og det har en væsentlig betydning for bygningens energiforbrug.*

*I tilfældet med Stengårdsskolen haves en måling af det totale elforbrug, som kan omregnes til et omtrentligt internt varmetilskud. Skolen bruger ca. 269.000 kWh om året, hvilket svarer til 3,5 W/m<sup>2</sup>. Hele elforbruget vil dog næppe komme bygningen til gode som internt varmetilskud (fx udebelysning, forbrug i kældre- eller fyrrum mv.), og derfor bør det overvejes at justere værdien lidt nedad. Havde forbruget ikke været kendt, kunne man som alternativ have fastlagt et rimeligt bud på værdien ved at regne forholdsmæssigt ud fra det interne varmetilskud fra personer:  $6,0 \text{ W/m}^2 \cdot 2,4 \text{ W/m}^2 / 4,0 \text{ W/m}^2 = 3,6 \text{ W/m}^2$ .*

Sidste skridt i kalibreringen af modellen er, at få modellens varmeforbrug til at matche det målte varmeforbrug. I den forbindelse kan man justere forbruget af varmt brugsvand, hvis forbruget er kendt. Hvis ikke forbruget af varmt brugsvand er kendt anvendes standardværdier (dvs. 250 l/m<sup>2</sup> for boliger og 100 l/m<sup>2</sup> for andet).

I Be18-modellen justeres indetemperaturen:

- Tilpas værdien: Rediger → Temperaturer... → Opvarm.
- Indtil varmeforbruget: Nøgletal → Bidrag til energibehovet → Varme matcher det målte varmeforbrug for bygningen.

Hermed opnås en kalibreret model af bygningen før energirenoveringen, hvor både elforbruget og varmeforbruget matcher de tilsvarende målte forbrug. Ud fra denne model udarbejdes der nu en ny model, der afspejler den planlagte energirenovering således at den forventede energibesparelse kan fastlægges. Den energibesparelse som hermed er beregnet, svarer til energirenoveringens *baseline*.



## Bilag 3: Prebound- og rebound-effekter

En af de mulige årsager til, at forventede energibesparelser ikke altid indfries i forbindelse med omfattende energirenoveringsprojekter, er de såkaldte prebound- og rebound-effekter. Begge effekter trækker energibesparelsen i den forkerte retning, og i situationer hvor begge effekter optræder, kan det medføre at forventede energibesparelser udebliver.

Prebound betyder, at brugerne af den pågældende bygning, inden renoveringen gennemføres, bruger mindre energi end forventet. For at spare på energien holder brugerne fx en gennemsnitligt lavere indetemperatur end de 20 °C, der normalt regnes med (enten generelt eller fx ved ikke at opvarme alle rum i bygningen). Hvis man i dette tilfælde har beregnet den forventede energibesparelse med en indetemperatur på 20 °C vil man overvurdere energibesparelsen.

Rebound betyder, at brugerne af den pågældende bygning, efter renoveringen gennemføres, bruger mere energi end forventet. Efter renoveringen vil udgifterne til opvarmning af bygningen være væsentligt reduceret, og dermed er brugerne måske ikke så opmærksomme på at spare som før og øger i stedet komforten ved fx at hæve indetemperaturen. Hvis man i dette tilfælde har beregnet den forventede energibesparelse med en forventet indetemperatur på 20 °C vil man overvurdere energibesparelsen. Rebound effekten kan også hænge sammen med adfærd omkring udluftning, fx hvis beboerne efter energirenovering lufte ud med åbne vinduer, og der i beregningerne er forudsat at det kun sker gennem mekanisk ventilation med varmegenvinding.

*Eksempel: Gadehavegård (se evt. bilag X)*

*For Gadehavegård er der lavet en følsomhedsanalyse af indetemperaturens betydning for den forventede energibesparelse. Analysen viser at den totale energibesparelse varierer mellem 275,9 – 306,5 MWh hvis indetemperaturen varierer fra 21 – 23 °C. Heri er der dog ikke medtaget betydningen af eventuelle pre- og rebound-effekter, idet analysen antager at temperaturen er den samme før/efter renoveringen.*

*Hvis man fx laver en analyse af den forventede energibesparelse, hvor indetemperaturen er 19 °C inden renoveringen og 21 °C efter renoveringen, bliver energibesparelsen 219,4 MWh. Hvis man antager at indetemperaturen er 20 °C før og 22 °C efter bliver energibesparelsen 235,7 MWh. Heraf er det tydeligt, at prebound- og rebound-effekterne kan have en ret væsentlig betydning for de opnåede energibesparelser.*



## Bilag 4: Håndtering af el-producerende anlæg som fx solceller

Solceller eller andre el-producerende anlæg kan medvirke til at reducere det samlede primær-energiforbrug for en bygning. Fastlæggelsen af den mængde el som produceres af anlægget kan foretages vha. Be18.

Solcelleydelsen aflæses i Resultat-rapporten *Solceller og vindmøller* -> *Solcelleydelse*. Dette svarer dog til den totale el-produktion fra solcellerne, og derfor er det nødvendigt at fastlægge hvor meget af den producerede el der kan anvendes direkte i bygningen og hvor meget af den producerede el der må sælges til nettet. Dette kan gøres ved at benytte metoderne beskrevet i *Håndbog for Energikonsulenter*, afsnit 9.19 *Solcelleanlæg*, og gengives i kort form i det følgende.

Den samlede solcelleydelse aflæses, og derudover aflæses bygningens samlede el-behov *Solceller og vindmøller* -> *Bygningens samlede el-behov* eller el-behovet til bygningsdrift *Solceller og vindmøller* -> *Elbehov til bygningsdrift*. Hvilken af de to der skal benyttes i fastlæggelsen af den samlede solcelleydelse, afhænger af bygningstypen. Den direkte årlige udnyttelse af solcellestrømmen fastlægges ved at tage forholdet mellem den producerede solcelle-el og elforbruget i bygningen, og aflæse udnyttelsesprocenten i Tabel 4.1.

Bemærk at man i etageboliger kun kan dække elforbruget til bygningsdrift via solcelleproduktionen. Det private elforbrug til husholdning i lejlighederne, kan altså ikke medregnes. Derfor skal Tabel 4.1 anvendes for etageboliger, hvor andelen udregnes på baggrund af elforbruget til bygningsdrift.

Tabel 4.1 Den direkte årlige udnyttelse af solcellestrøm. Kilde: *Håndbog for Energikonsulenter*.

Elforbrug, som dækkes af solceller	Boliger		Erhvervsbygning i brug hverdage kl. 8-17.		Erhvervsbygning i brug alle dage kl. 8-17.	
	u. el-op-varm.	m. el-op-varm.	u. el-op-varm.	m. el-op-varm.	u. el-op-varm.	m. el-op-varm.
0,1	0,69	0,50	0,65	0,50	0,93	0,50
0,2	0,67	0,44	0,65	0,44	0,93	0,44
0,3	0,60	0,40	0,65	0,40	0,86	0,40
0,4	0,53	0,36	0,65	0,36	0,80	0,36
0,5	0,47	0,33	0,65	0,33	0,74	0,33
0,6	0,42	0,30	0,64	0,30	0,68	0,30
0,7	0,38	0,28	0,62	0,28	0,62	0,28
0,8	0,35	0,25	0,59	0,25	0,58	0,25
0,9	0,32	0,24	0,57	0,24	0,53	0,24
1,0	0,30	0,22	0,54	0,22	0,50	0,22
1,1	0,28	0,21	0,51	0,21	0,47	0,21
1,2	0,26	0,20	0,49	0,20	0,43	0,20
1,5	0,22	0,17	0,42	0,17	0,37	0,17
2,0	0,18	0,13	0,35	0,13	0,29	0,13
3,0	0,13	0,10			0,21	0,10
4,0	0,10	0,08			0,16	0,08
5,0	0,08	0,06			0,13	0,06

*Eksempel: Gadehavegård (se evt. bilag 7)*

*I Gadehavegård er der opsat 203 m<sup>2</sup> solceller med en peak power på 0,155 kW/m<sup>2</sup> og en systemvirkningsgrad på 87,6 %. Solcellerne er sydvendte med en hældning på 25 °.*

*Solcelleanlæggets årlige el-produktion kan aflæses i Be18 til 32.866 kWh og bygningens totale elforbrug til bygningsdrift aflæses til 13.425 kWh. Dermed er bygningens andel af samlet solcellestrøm:*

$$32.866 \text{ kWh} / 13.425 \text{ kWh} = 2,45$$

*Fra Tabel 4.1 kan nu fastlægges at ca. 16 % af den producerede el kan anvendes direkte i bygningen, dvs. ca. 5.259 kWh. Det skal bemærkes, at anlægget monteret på bygningen er tiltænkt at betjene en række andre bygninger i samme bebyggelse, og dermed forventes det at størstedelen af den solcelle-producerede el kan anvendes til dækning af bygningsdrift for bebyggelsen som helhed.*

## Bilag 5: Graddage for klimaskærm og ventilation

Tabellen herunder angiver graddage for klimaskærm og ventilation i afhængighed af den gennemsnitlige rumtemperatur i opvarmningssæsonen, det interne varmetilskud og P-faktoren og er gældende for normalåret. P-faktoren udtrykker i denne sammenhæng varmetabet gennem klimaskærmen i W pr. m<sup>2</sup> boligareal pr. grad temperaturforskelle mellem inde- og udetemperaturen.

Graddage for klimaskærm og ventilation i afhængighed af gennemsnitlig rumtemperatur i opvarmningssæsonen, internt varmetilskud og P-faktor. Normalår.

Rumtemperatur* (°C)		19			20			21		
Internt varmetilskud* (W/m²)		3	5	10	3	5	10	3	5	10
P-faktor(W/m² K):	1,0	2800	2625	2025	3075	2850	2250	3325	3125	2525
	1,5	3225	3100	2775	3525	3400	3050	3825	3700	3325
	2,0	3450	3375	3125	3775	3675	3450	4100	4000	3750
	2,5	3600	3525	3350	3925	3850	3675	4250	4200	4000

\* Gennemsnit for hele døgnet og ugen i opvarmningssæsonen. Forudsætningen i tabellen svarer derfor til 8-22 % glasareal med 2 lag alm. glas og nogenlunde fri horisont samt ens fordelt orientering. Kan også være andre kombinationer med samme solindfald.

Hvis det interne varmetilskud eller det totale varmetab gennem klimaskærmen er ukendt, eller hvis der er tale om relativt simple beregninger, kan følgende simple tilgang anvendes. Tabellen herunder angiver antallet af gradtimer som kan benyttes i forbindelse med fastlæggelse af energibesparelser for klimaskærmen.

Gradtimer beregnet på basis af varierende rumtemperatur.

Rumtemperatur (°C)	17	18	19	20	21	22	23
Antal gradtimer (kKh)	74	79	85	90	96	101	107

### Graddage til brug for graddøgnskorrektion

Tabellen herunder angiver antallet af graddage for 2008, DRY-referenceåret og 2010. TI graddage (fra Teknologisk Institut) er beregnet på basis af en rumtemperatur på 17 °C og følger Teknologisk Instituts definition på graddage, dvs. at når der i foråret har været 3 sammenhængende dage, hvor middeltemperaturen har været over 10 °C, ophører graddagetællingen. Dette medfører at kolde dage, der kan forekomme fx i slutningen af maj måned, ikke tælles med. EMO graddage (fra Energimærkningsordningen) tælles hele året og dermed er der flere graddage i dette system, selvom det baseres på de samme målinger.

Graddage for 2008, DRY-referenceåret og 2010. Graddage er beregnet på basis af en rumtemperatur på 17 °C.

År	2008	DRY	2010
Antal graddagen (Gd), TI	2326	2906	3221
Antal graddage (Gd), EMO	2608	3112	3490

I forbindelse med graddøgnskorrektion af varmemeforbrug, anbefales det at benytte EMO graddage, da man herved tager højde for hele årets varmemeforbrug. Betydningen er dog ret beskeden.

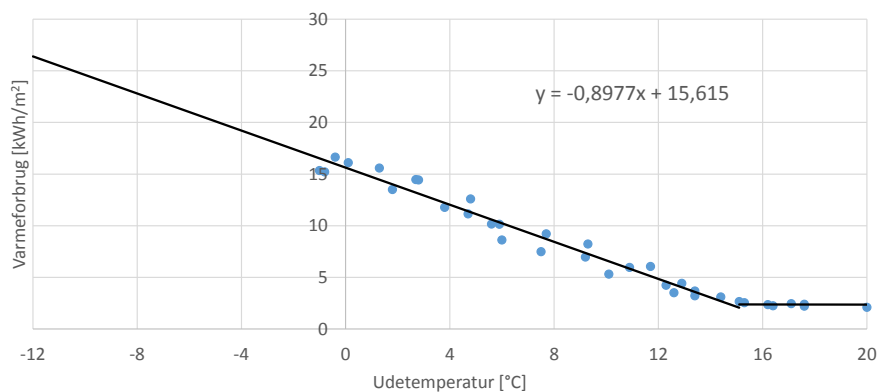
## Bilag 6. Energisignatur

Energisignatur er et udtryk for bygningens varmeforbrug afhængigt af udetemperaturen. Varmeforbruget inkluderer varmeforbrug til opvarmning og varmt brugsvand inklusiv cirkulationstab.

For at energisignaturen skal give mening og være praktisk anvendelig, vil det derfor som udgangspunkt kræve, at der foretages enten døgnaflysninger eller månedsaflysninger af såvel forbrug som udetemperatur primært ved automatisk registrering. Ved månedsaflysninger kan værdier fra DMI gratis benyttes.

Energisignaturen benyttes ofte i forbindelse med energistyring, og kan fungere som et værktøj for driftspersonalet til at vise afvigelser i energiforbruget i en bygning i forhold til det forventede forbrug.

Energisignaturen er en grafisk afbildning i et koordinatsystem, hvor de forskellige punkter repræsenterer varmeforbrug for de enkelte døgn eller måneder. På x-aksen ses døgnets middel udetemperatur og på y-aksen ses varmeforbruget. Der kan heraf ud fra de forskellige punkter normalt optegnes to rette linjer ved lineær regression. I grafen er udetemperaturen (x-aksen) månedsmiddeltemperaturer, og hvert punkt svarer altså til aflæsning af én måneds forbrug.



Figur 5. Energisignatur for ældre etageejendom i København.

Ved afbildning af energisignatur, repræsenterer den skrå linje varmeforbruget i opvarmningssæsonen afhængigt af udetemperaturen, mens den vandrette linje repræsenterer basisforbruget uafhængigt af temperaturen. I basisforbruget indgår varmeforbrug til opvarmning af varmt brugsvand og varmetab fra kedelanlæg og varmtvandsanlæg. Basisforbruget vil typisk udelukkende bestå af opvarmning til varmt brugsvand, men der ses også eksempler på bygninger, hvor en del af basisforbruget også går til utilsigtet opvarmning gennem radiatorer eller lignende varmekilder. Det kan anbefales at få monteret en bimåler på det varme brugsvand.



Varmeforbruget i opvarmningssæsonen afhænger af flere faktorer såsom bygningens isoleringsniveau, tæthed og ventilation. Herudover har brugervaner samt udnyttelse af interne varmetilskud og solindstråling også en stor betydning.

Ved at sammenligne den reelle energisignatur med den beregnede energisignatur er det muligt at lave en vurdering af de forskellige forbrug, og se om der er afvigelser. Det giver den driftsansvarlige et groft overblik over anormalteter i varmekorbrug, så fejl hurtigere og måske lettere kan opdages, hvis de kan relateres til nylige ændringer af relevante anlæg el. lign., som kan have ændret forbruget.

Hvis der er forskel på den faktiske og den estimerede energisignatur, må det yderligere undersøges, om forudsætningerne for beregningerne er i overensstemmelse med de forhold der rent faktisk er for bygningen og dens varmeanlæg og øvrige installationer. Forudsætningerne kan bl.a. kontrolleres ved at udføre registrering af drift eller undersøgelse af effektiviteten af forskellige anlæg, som kan være skyld i forskellen.

Afvigelser mellem faktisk og beregnet forbrug kan bl.a. skyldes forskelle i rumtemperatur som følge af dynamiske belastninger og brug i forhold til antal mennesker, brugstid, lys og elbelastninger. Afvigelser kan ligeledes skyldes fejl og uhensigtsmæssige indstillinger af varme- og ventilationsanlæg.

## **Bilag 7. Eksempler på cases**

Case 1, etageejendom med før- og efter-målinger

Case 2, etageejendom med før-målinger

Case 3, skole med før og efter-målinger

Case 4, kontorbygning med før- og efter-målinger



## Case 1, Etageejendom med før- og efter-målinger

### Projekt navn: Gadehavegård

Eksempel på renovering taget fra projektet "Reelle energibesparelser ved energirenovering". For dette eksempel haves målt forbrug både før og efter renovering. Der er dog tale om to forskellige blokke fra samme bebyggelse, og målinger er foretaget samtidig i de to blokke. I det følgende anvendes arealer mv. for den renoverede blok, og før-målinger mv. korrigeres altså ved arealvægtning.

Motivation for energirenovering	Bebyggelsen havde kun mindre byggetekniske problemer (vinduer og døre), og 1-2 lejligheder blev gennemsnitligt renoveret for skimmelsvamp om året. Bebyggelsen havde et stort varmekonsum og såkaldt "ghettobetegnelse". Facadeudtrykket var uhensigtsmæssigt tomt og dødt, og altaner var ikke særligt anvendelige. Derfor ønskede man et nyt facadeudtryk, som kunne tilføre bebyggelsen arkitektonisk værdi.		
Energiltag	Udvendig efterisolering af facade og sokkel, reduktion af kuldebroer, udskiftning af vinduer, efterisolering af loft, efterisolering af terrændæk/kælderloft, mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding, solceller.		
Bygningsdata	Benævnelse: Gadehavegård, totalt 987 lejligheder fordelt på 19 blokke á 4 etager + kælder	Areal, BBR: 4218 m <sup>2</sup> (reference), 4972 m <sup>2</sup> (renoveret)	
	Adresse: Murskeen 16-20 (reference)	Ved renovering inddrages altaner i lejligheder (14 m <sup>2</sup> pr. stk.)	
Projekt data	Murskeen 29-34 (renoveret), 2630 Taastrup	Areal, uopv. kælder: 1243 m <sup>2</sup> (reference og renoveret)	
	Ejer: Domea.dk	Byggeår: 1979 – 1982	Renoveringsperiode: 2014 – 2015
	Rådgivere: Dominia A/S	Entreprenør: Bjerg Arkitektur	
	Arkitekt: Bjerg Arkitektur	Energimærke Før: C Efter: Passivhus (PHPP), A2020	Brugere: Udlejningsboliger



Fotos: Teknologisk Institut

Bygningstilstand før renovering	Klimaskærm:
	<p>Fladt tag med 100 mm isolering (<math>U = 0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>)</p> <p>Ydervægge ved balkon bestående af lette vægge med 125 mm isolering (<math>U = 0,38 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>). Ydervægge i øvrigt bestående af sandwichelementer med 125 mm isolering (<math>U = 0,57 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>).</p> <p>Døre er monteret med 2 lags termorude. Vinduerne er overvejende 2-3-fags vinduer i træ, forsynet med 2-lags termorude (<math>U = 2,93 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math> og <math>g = 0,76</math>)</p> <p>Kælderloft mellem stueetage og uopvarmet kælder bestående af 25 cm betondæk med 100 mm isolering (<math>U = 0,35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>) Kældervægge/sokkel 350 mm beton (<math>U = 3,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>)</p>

	<p><i>Installationer:</i></p> <p>Bygningen er forsynet med fjernvarme fra en hovedcentral som viderefordeler til de enkelte bygninger. Pumpen i varmeanlægget har en effekt på 200 W og en reduktionsfaktor på 0,8. Bygningen har en 2000 l varmtvandsbeholder med 100 mm isolering. Der er cirkulation på det varme brugsvand via pumpe med effekt på 50 W og reduktionsfaktor på 0,8. Der er to stigrør pr. lejlighed og i alt 384 m rør til fordeling af varmt vand.</p> <p>Der er naturlig ventilation i hele huset i form af oplukkelige vinduer, fast indstillede aftræksventiler i bad og emhætte. Udsugningen sikres af 2 stk. ventilatorer i fabrikat Exhausto type BESB 500-4-1, ventilatorerne er trykstyret. Der udsuges 0,335 l/s pr. m<sup>2</sup> og anlægget har en SEL-værdi på 1,265 kJ/m<sup>3</sup>.</p>
Registrering af forbrugs- og indeklimadata før renovering	<p><i>El-forbrug</i> målt i perioden 7. januar – 31. august (235 dage):</p> <p>Privat elforbrug: 64.204 kWh</p> <p>Fælles elforbrug: 9.513 kWh</p> <p>Dette svarer til årsforbrug på:</p> <p>Privat elforbrug: 99.721 kWh (svarende til 23,6 kWh/m<sup>2</sup>)</p> <p>Fælles elforbrug: 14.775 kWh (svarende til 3,5 kWh/m<sup>2</sup>)</p> <p>Det antages at det private elforbrug er det samme før/efter renovering.</p> <p>Der er generelt antaget et internt varmetilskud fra personer på 1,0 W/m<sup>2</sup>. Dette er lidt lavere end de normalt anvendte 1,5 W/m<sup>2</sup>, og skyldes at der er relativt mange enlige og enlige med børn i bebyggelsen.</p> <p><i>Varmeforbrug</i>, graddagekorrigeret,</p> <p>Fjernvarmeforbrug: 460,2 MWh for perioden 1.1.2008 – 1.1.2009 (svarende til 109,1 kWh/m<sup>2</sup>)</p>
Gennemførte energitiltag	<p>Bygningen har fået udvendig efterisolering på alle facader, nye vinduer, efterisolering af taget, decentrale ventilationsanlæg, solcelleanlæg samt inddraget indbyggede altaner med foldbare glasfacader.</p> <p><i>Klimaskærm:</i> Fladt tag er efterisoleret med 250 mm mineraluldsgrenulat (<math>U = 0,11 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>).</p> <p>Ydervægge er efterisoleret udvendig med 200 mm isolering og ny facade er etableret (v. balkon: <math>U = 0,13 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>, ydervægge i øvrigt: <math>U = 0,14 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>).</p> <p>Ældre termovinduer er udskiftet med nye 3-lags energivinduer (gennemsnitligt: <math>U = 0,92 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math> og g-værdi 0,50).</p> <p>Kælderloft mellem stueetage og uopvarmet kælder er ikke efterisoleret (<math>U = 0,35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>).</p> <p>Kældervægge/sokkel er isoleret udvendig med 200 mm isolering (<math>U = 0,10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>).</p> <p><i>Ventilation:</i> Etablering af decentralt balanceret mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding.</p> <p>Varmegenvindingsgrad på 80 % og en SEL-værdi på 1,0 kJ/m<sup>3</sup>. Der ventileres en luftmængde på 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup>, hvilket svarer til et luftskifte på ca. 0,5 h<sup>-1</sup>. Infiltrationen regnes med at være lavere efter renoveringen, og svarer dermed til 0,15 l/s pr. m<sup>2</sup>. Naturlig ventilation anvendes i sommerperioden.</p> <p><i>Solcelleanlæg:</i> Etablering af solcelleanlæg til dækning af el til fællesarealer samt dækning af elforbrug til nyt ventilationsanlæg. Solcellerne er monokrystallinske, af fabrikat Winaico type WSP monteret på taget.</p> <p>Solcelleanlægget har et areal på 204 m<sup>2</sup>, en peak power på 155 W/m<sup>2</sup> og en virkningsgrad på 87,6 %.</p> <p>Solcelleanlægget har en forventet total el-produktion på ca. 33.000 kWh pr. år.</p>
Redegørelse for anvendt beregningsmetode	<p>Beregningsmetoden af varmemeforbruget før energirenoveringen er først foretaget med standardbetingelser (dvs. 20 °C indetemperatur, 5 W/m<sup>2</sup> internt varmetilskud), og derefter er værdierne tilpasset så modellen kalibreres først med det faktiske elforbrug og derefter med det målte graddøgnekorrigerede varmemeforbrug. Årsagen til denne rækkefølge er, at elforbruget påvirker varmemeforbruget gennem det interne varmetilskud mens varmemeforbruget ikke, eller kun i meget ringe grad, påvirker elforbruget. Metoden sikrer altså at modellen kan kalibreres op mod begge forbrug, uden behov for en iterativ proces. Metoden er:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Start med standardbetingelser for indetemperatur og internt varmetilskud</li> <li>2. Tilpas det interne varmetilskud fra apparatur indtil det beregnede elforbrug svarer til det målte</li> <li>3. Tilpas indetemperaturen indtil det beregnede varmemeforbrug svarer til det målte</li> </ol>

Det beregnede varmeforbrug med standardbetingelser bliver: 90,4 kWh/m<sup>2</sup> (381,3 MWh).

Det målte private elforbrug svarer til et gennemsnitligt internt varmetilskud fra udstyr på ca. 2,7 W/m<sup>2</sup> og persontætheden i lejlighederne svarer, som tidligere nævnt, til et varmetilskud på 1,0 W/m<sup>2</sup>. Det samlede interne varmetilskud er altså 3,7 W/m<sup>2</sup>, dvs. 1,3 W/m<sup>2</sup> lavere end de normalt anvendte 5,0 W/m<sup>2</sup>. Dette ændres i modellen. Det beregnede varmeforbrug stiger derved til: 98,6 kWh/m<sup>2</sup> (415,9 MWh).

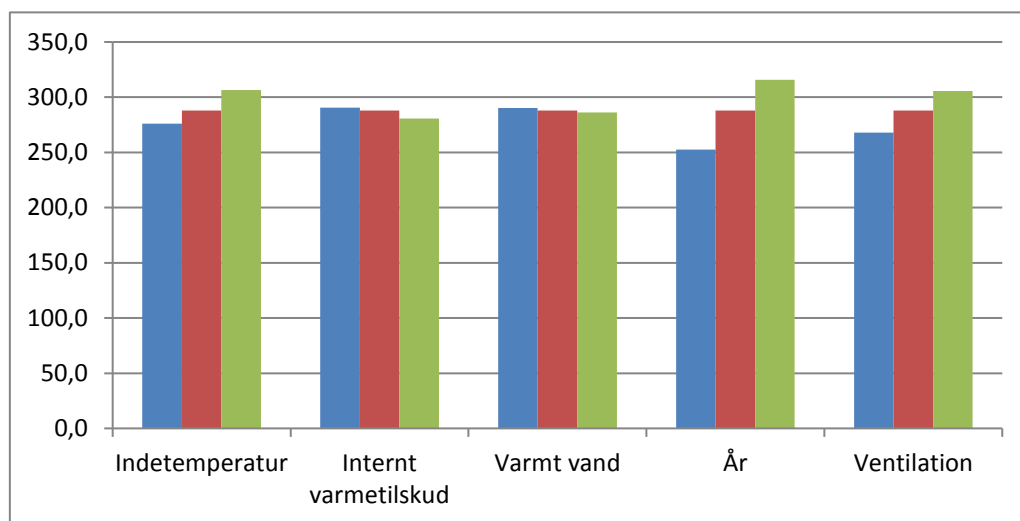
Det totale interne varmetilskud fra personer og udstyr fastholdes fra før- til efter-situationen, dvs. at værdierne på hhv. 1,0 W/m<sup>2</sup> og 2,7 W/m<sup>2</sup> reduceres således at der tages hensyn til forøgelsen af det opvarmede etageareal.

Det målte graddøgnkorrigerede forbrug var 460,2 MWh, og indetemperaturen i modellen fastlægges nu således at der opnås samme totale varmeforbrug for bygningen. Indetemperaturen bestemmes som ca. 21,7 °C.

#### Følsomhedsanalyse

#### Variation i varmebesparelsen

For hver af de 5 parametre vises 3 søjler med den røde søjle som reference.



#### Input for de enkelte søjler

	Blå	Rød	Grøn
Indetemperatur [°C]	21,0	21,7	23,0
Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	3,0	3,7	5,0
Varmt vand [l/m <sup>2</sup> ]	200	250	300
År [-]	2008	DRY	2010
Ventilation [-]	"Worst case"	Reference	"Best case"

For ventilationens vedkommende er der foretaget detaljerede målinger af luftmængder mv. før og efter renoveringen, og dermed er der relativt lille usikkerhed på værdierne. Variation foretages i luftmængder, SEL-værdi, varmegenvindingsgrad og infiltration. "Worst case" svarer til at anlægget performer bedre end forventet før renoveringen og dårligere efter (hvilket giver den mindste besparelse), og "Best case" svarer til at anlægget performer dårligere end forventet før renoveringen og bedre efter (hvilket giver den største besparelse).

	Varmebesparelse spænd [MWh]	Elbesparelse spænd [MWh]
Indetemperatur:	275,9 – 306,5	–
Internt varmetilskud:	280,8 – 290,7	–
Varmt vand:	286,3 – 290,3	–
Graddage:	252,5 – 315,9	–
Ventilation:	267,9 – 305,6	0,8 – 6,7

### Fortolkning af resultater

De forventede besparelser vil, naturligt nok, være mest afhængige af antallet af graddage, og her varierer besparelsen ca.  $\pm 10\%$  fra varmeste til koldeste år. Herefter er den næstmest betydende faktor usikkerhederne omkring hvordan ventilationen i bygningen er før/efter renoveringen, og bemærk at her påvirkes også den forventede elbesparelse. På trods af at der er lavet målinger af ventilationen, betyder usikkerhederne fortsat relativt meget for besparelsen. Indetemperaturen er også af nogen betydning, svarende til ca.  $\pm 5\%$ . Variationer i det interne varmetilskud og forbruget af varmt brugsvand har kun meget lille betydning for energibesparelsen.

Ud fra følsomhedsanalysen må det vurderes at besparelsen vil ligge mellem 260 – 310 MWh i et normalår.

Herunder beskrives en probabilistisk tilgang til følsomhedsanalysen.

	Blå		Rød		Grøn	
Indetemperatur [°C]	21,0	10%	21,7	50%	23,0	40%
Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	3,0	30%	3,7	50%	5,0	20%
Varmt vand [l/m <sup>2</sup> ]	200	40%	250	50%	300	10%
Ventilation [-]	"Worst"	30%	Ref.	50%	"Best"	20%

For hver parameter bestemmes vægtede middelværdier for varmebesparelsen, og middelværdien af disse vil svare til en ny baseline. I dette tilfælde får man 289 MWh. Tilsvarende kan vægtede afvigelser bestemmes for hver enkelt parameter, og disse afvigelser kan herefter summeres til en samlet afvigelse. Herved får man en forventet varmebesparelse som varierer mellem 273 – 300 MWh. Man kan altså vha. den probabilistiske tilgang opnå lidt mere præcision i forudsigelsen af den forventede varmebesparelse.

Bemærk i øvrigt, at der i denne case er tale om to forskellige blokke, som repræsenterer henholdsvis før/efter-situationen. Der er altså tale om forskellige brugere i før/efter-situationen, hvilket naturligvis kan have en væsentlig betydning for resultaterne, men i dette eksempel har det tilsyneladende mindre betydning.

Energiforbrug, målt og beregnet	MWh	Før		Efter		Besparelse	
		Varme	El	Varme	El	Varme	El
	Målt forbrug	460,2	114,5	167,6	114,5	292,6	0,0
	Be15 standard	381,3	146,4	122,8	166,1	258,5	-19,7
	Be15 tilpasset	459,3	116,8	171,5	113,4	287,8	3,5

Solcelleanlæg  
Beregninger og målinger i tabellen ovenfor tager ikke højde for solcellernes elproduktion, og den fastlagte besparelse i elforbruget dækker altså udelukkende den mindre luftmængde i ventilationsanlægget kombineret med den lavere SEL-værdi for anlægget.

Ifølge Be15-beregningen producerer solcelleanlægget 6,6 kWh/m<sup>2</sup>. Elforbruget til bygningsdrift er imidlertid kun 2,7 kWh/m<sup>2</sup>. Solcelleanlægget vil dermed dække det fælles elforbrug (2,7 kWh/m<sup>2</sup> svarende til 13,4 MWh) og resten vil sælges tilbage til nettet. Den samlede elbesparelse er dermed 16,9 MWh (13,4 MWh + 3,5 MWh) og der sælges 19,4 MWh til nettet. Hvis al den producerede el kunne bruges i bygningen vil den samlede elbesparelse være 36,2 MWh.

Opnåede effekter og læringer	1.	I denne case stiger det opvarmede etageareal med 754 m <sup>2</sup> i forbindelse med renoveringen, dels som følge af den udvendige efterisolering af bygningen (ca. 175 m <sup>2</sup> ) og dels som følge af at altaner inddrages i det opvarmede etageareal (ca. 579 m <sup>2</sup> ). Hvis man blot benytter samme interne varmetilskud fra personer og udstyr i "før"- og "efter"-beregningen, vil man få en forøgelse af elforbruget på ca. 16,4 MWh. Det interne varmetilskud må altså tilpasses arealet for at opnå retvisende beregninger. For denne case betyder det, at det interne varmetilskud fra udstyr er 2,70 W/m <sup>2</sup> i beregningen "før" og 2,29 W/m <sup>2</sup> i beregningen "efter".
	2.	Et solcelleanlæg kan reducere elforbruget i bygningen. I Be15-beregningen er det dog vanskeligt direkte at medtage dette, da Be15 kun kan modregne elproduktionen i det elforbrug som relaterer sig til bygningsdriften. Det anbefales derfor at solcelleproduceret el medtages i beregningen som vist ovenfor, dvs. i en separat beregning.

## Case 2, Etageejendom med før-målinger

### Projekt navn: Skoleparken

Eksemplet er taget fra projektet "Reelle energibesparelser ved energirenovering". For dette eksempel haves målt forbrug før renovering af en bygning (blok A4), mens de anvendte energitiltag er taget fra et renoveringsprojekt af samme bygningstype i bebyggelsen (blok A1).

Motivation for energirenovering	<p>Bebyggelsen består af betonelement byggeri fra 60'erne, hvor der i 2005 blev konstateret nedbrydning af betonfacaden. I en omfattende tilstandsvurdering af bebyggelsen afsluttet i 2009 blev der fundet behov for forbedring af betonfacaden, vand- og varmeinstallationer og udsugning i bad og køkken.</p> <p>Med udgangspunkt i tilstandsvurderingen opstod der et ønske om en større fremtidssikring og der blev igangsat en helhedsplan. Planen blev godkendt i 2012 og omhandler et arkitektonisk løft med ny facadebeklædning, lysere og mere åbne trapperum og indgange, større altaner og nye vinduer. Fælles faciliteter forbedres med mere indbydende friarealer og aktivitetshuse. Øvrige tiltag omfatter og renovering af bl.a. badeværelser, tagkonstruktion og fokus på at øge boligernes tilgængelighed.</p>		
Energitiltag	<p>Renovering af klimaskærmen, herunder udvendig efterisolering med ny skalmur, nye træ-alu vinduer og altandøre, nye indgangspartier i glas, nye dybere altaner med oplukkelige skydeglaspartier samt ny tagbelægning med efterisolering. Klimaskærmen efterisoleres og der etableres central balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding, så energirammen for BR10 tilnærmelsesvis overholdes.</p>		
Bygningsdata	<p><i>Benævnelse:</i> Skoleparken</p> <p>Bebyggelsen har totalt 426 lejligheder fordelt på 3 afdelinger hhv. 10 blokke á 3 etager + kælder.</p>	<p><i>Bygning:</i> Blok A4</p> <p><i>Adresse:</i> Hillerødsholmsallé 115-123</p> <p><i>Boligareal jf. BBR:</i> 2674 m<sup>2</sup></p> <p><i>Areal, uopv. Kælder/krybekælder jf. BBR:</i> 674 m<sup>2</sup></p> <p><i>Antal boliger jf. BBR:</i> 36</p>	
Projekt data	<i>Ejer:</i>	<i>Byggeår:</i>	<i>Renoveringsperiode:</i>
	Boligselskabet Nordsjælland	1967	2015-2017
	<i>Rådgivere:</i>	<i>Entreprenør:</i>	
	Rambøll	Adserballe & Knudsen A/S	
	<i>Arkitekt:</i>	<i>Energimærke</i>	<i>Brugere:</i>
	Rambøll	Før: D	Almene boliger
		Efter: B	

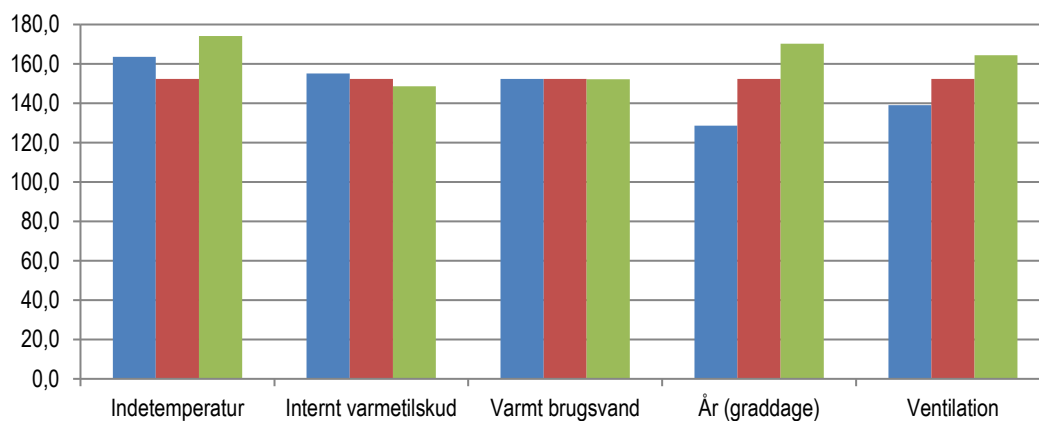


Fotos: Alument ApS, Adserballe & Knudsen A/S



Bygningstilstand før renovering	<p><i>Loft og tag:</i></p> <p>Taget er udført som saddeltag med træspær belagt med røde tegltagsten og uden undertag. Loft mod uopvarmet tagrum er udført som betondæk med overliggende isolering. Taget er isoleret med 200 mm mineraluldsgranulat, som er meget ujævnt fordelt på loftet. Den gennemsnitlige effektive isolering antages at være 150 mm mineraluld (<math>U = 0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>).</p> <p><i>Ydervægge:</i></p> <p>Ydervægge bestående af 210 mm beton sandwichelementer med 75 mm isolering (<math>U = 0,44 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>). Ved altaner er ydervæg udført som let væg med 100 mm stolpeskelet og 75 mm isolering (<math>U = 0,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>). Vægge mellem opvarmede og uopvarmede rum i kælderen består af 11-23 cm massiv teglvæg (<math>U = 0,21 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>). Kælderydervægge mod jord er udført som 30 cm massiv beton. Kældervægge er ikke isoleret (<math>U = 0,92 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>).</p>
	<p><i>Vinduer, døre, ovenlys:</i></p> <p>Vinduer er udført som 1-fags vinduer i trærammer. Vinduerne er monteret med 2-lags termoruder, men enkelte er opgraderet til 2-lags energiruder. Fordelingen af rudetyper er skønnet til henholdsvis 90 pct. 2-lags termoruder (<math>U = 2,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>, <math>g = 0,76</math>) og 10 pct. 2-lags energiruder (<math>U = 1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>, <math>g = 0,63</math>). Yderdøre til trappeopgange er udført som enkelt døre i træ med 1-lags glas samt et større glasfelt i 1-lags glas (<math>U = 4,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>, <math>g = 0,85</math>). Altanydør døre er udført som trædøre med 2-lags termoruder (<math>U = 2,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>, <math>g = 0,76</math>).</p>
	<p><i>Kælder:</i></p> <p>Størstedelen af kælderen er uopvarmet pulterrum, vaskekælder og varmecentral. Enkelte arealer er opvarmet heriblandt vicevært kontor, vaskeri, hobbylokaler. En del af kælderen er udført som utilgængelig krybekælder.</p>
	<p><i>Etageadskillelser:</i></p> <p>Etageadskillelse mod uopvarmet kælder og krybekælder er udført som 200 mm jernbetondæk ca. 30 mm isolering mellem strøer under trægulve (<math>U = 0,74 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>).</p>
	<p><i>Varmeanlæg:</i></p> <p>Hver blok har egen fjernvarmecentral. Radiatoranlægget er et 2-strengt system. Alle radiatorer er forsynet med termostatventiler, og der er individuel måling af varmen. På blandesløjfe til centralvarmeanlæg er der monteret 2 cirkulationspumper. Pumpe nr. 1 er en firetrinspumpe af fabrikat Smedegaard type EV 5-100-4C med en effekt på 102-208 W. Pumpe nr. 2 er en firetrinspumpe af fabrikat Smedegaard type EI-vario 5-100-4 med en effekt på 45-105 W. Varmefordelingsrør i kælderen er udført som 1 1/2" stålør med 20-30 mm isolering. I varmecentral er tre af pumperne uisolerede.</p>
	<p><i>Varmt brugsvand:</i></p> <p>Det varme brugsvand opvarmes med direkte fjernvarme i varmtvandsbeholder af ukendt fabrikat. Der er ikke individuelle målere på det kolde og varme brugsvand, og det samlede vandforbrug fordeles efter boligareal. Brugsvandet forvarmes i ladekreds med varmeveksler af fabrikat Metro type 2720/241-26 med ukendt effekt. På rørstrækning mellem fjernvarme hovedforsyning og varmeveksler til varmt brugsvand er der monteret en tretrins ladekredspumpe med en effekt på 30-60 W af fabrikat Grundfos type UPS 25-40. Det varme brugsvand cirkuleres med en ettrinspumpe af fabrikat Smedegaard type Vario 75V med en effekt på 149 W. Tilslutningsrør til varmtvandsbeholder er udført som 2" stålør og 40 mm isolering. Brugsvandsrør og cirkulationsledning i kælder er udført som 1 1/2" stålør og 20 mm isolering. Lodrette brugsvandsrør i opvarmede arealer er udført som 1" stålør og er placeret i en skakt, hvorfor isoleringsgraden er ukendt.</p>
	<p><i>Ventilation:</i></p> <p>Mekanisk udsugning i køkkener og badeværelser. Ventilationsanlæg er placeret i loftsrum, er uden trykstyring og vurderes at være monteret ved ejendommens opførelse. Klimaskærmens tæthed vurderes ikke at være nedsat væsentligt, da konstruktionssamlinger og fuger er rimeligt intakte.</p>

Registrering af forbrugs- og indeklimadata før renovering	<p>Varmeforbrug: 110,5 kWh/ m<sup>2</sup> (gennemsnitligt graddagekorrigeret varmeforbrug for 2013/14)</p> <p>Der er ikke registreret elforbrug.</p>
Gennemførte energitiltag	<p><i>Efterisolering:</i></p> <p>Udvendig efterisolering af ydervægge med 150 mm isolering (<math>U = 0,19 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>)</p> <p>Nye træ-alu vinduer og altandøre med 2-lags energiruder med varm kant (<math>U = 1,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>, <math>g = 0,63</math>)</p> <p>Nye faste facadepartier bag altaner med 70 mm højisolierende materiale (<math>U = 0,19 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>)</p> <p>Nye indgangspartier med store vinduespartier (<math>U = 1,65 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>, <math>g = 0,63</math>)</p> <p>Nye dybere altaner med oplukkelige skydeglaspartier (uopvarmede altaner)</p> <p>Nye tage og i den forbindelse 250 mm efterisolering til i alt 400 mm isolering (<math>U = 0,10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>)</p> <p>Isolering af kælderdek nedefra med 125 mm isolering (<math>U = 0,66 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>)</p> <p>Isolering af interne etagedæk med minimum 75 mm isolering</p> <p><i>Ventilation:</i></p> <p>Etablering af centralt balanceret mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding. Varmegenvindingsgrad på 80 % og SEL-værdi på 1,0 kJ/m<sup>3</sup>. Der ventileres en luftmængde på 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup> svarende til et luftskifte på 0,5 h<sup>-1</sup>.</p> <p>Infiltrationen regnes med at være lavere efter renoveringen, og svarer dermed til 0,15 l/s pr. m<sup>2</sup>. Naturlig ventilation i sommerperioden. Udsugning via køkkenemhætte kan forceres til den dobbelte luftmængde.</p>
Redegørelse for anvendt beregningsmetode	<p>Udgangspunktet for før-situationen er en Be15-model fra energimærkningen omfattende blokkene A2-4 og B3-5. Energiltagene er til gengæld overført fra renoveringen af blok A1, som er identisk med nærværende blok A4.</p> <p>Beregningsmodellen for varmeforbruget før energirenoveringen baseres som udgangspunkt på standardbetingelser og derefter tilnærmes det målte graddøgnkorrigerede varmeforbrug fra 2013/14.</p> <p>Det beregnede varmeforbrug med standardforudsætninger ligger på 108,0 kWh/m<sup>2</sup>, mens det målte ligger på 110,5 kWh/m<sup>2</sup>. I den tilpassede model øges indetemperaturen fra 20 til 20,3 °C, så det nye beregnede varmeforbrug bliver 110,4 kWh/m<sup>2</sup>.</p>
Følsomhedsanalyse	<p><i>Variation i varmebesparelsen [MWh]</i></p> <p>For hver af de 5 parameter vises 3 søjler med den røde søjle som reference</p>



Input for de enkelte søjler

	Blå	Rød	Grøn
Indetemperatur [°C]	21,3	20,3	22,3
Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	4	5	6
Varmt vand [l/m <sup>2</sup> ]	200	250	300
År / graddøgn	2008 / 2607	DRY / 3112	2010 / 3490
Ventilation	"Worst case"	Reference	"Best case"

For ventilationens vedkommende foretages variationen i luftmængder ( $\pm 10\%$ ), SEL-værdi ( $\pm 15\%$ ), varmegenvindingsgrad ( $\pm 5\%$ ) og infiltration ( $\pm 30\%$ ). "Worst case" svarer til at anlægget performer bedre end forventet før renoveringen og dårligere efter (hvilket giver den mindste besparelse), og "Best case" svarer til at anlægget performer dårligere end forventet før renoveringen og bedre efter (hvilket giver den største besparelse).

*Spænd i varmebesparelsen*

	Varmebesparelse spænd [MWh]	Elbesparelse spænd [MWh]
Indetemperatur [°C]	152,4 – 174,1	–
Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	148,7 – 155,1	–
Varmt vand [l/m <sup>2</sup> ]	152,2 – 152,4	–
År / graddøgn	128,6 – 170,3	–
Ventilation	139,5 – 164,5	3,7 – 9,1

*Fortolkning af resultater*

Elbesparelsen er relativt robust mht. varmetilskud og varmt brugsvand, da disse antagelser ikke ændres fra før til efter. Spændet grundet i indetemperaturvariation er stort, men svært at reducere pga. den vanskelige vurdering af beboernes adfærd. Variationen for ventilation viser, hvor følsom besparelsen er overfor komplekse installationer med flere underparametre.

Opnåede effekter og læringer	<p>En udfordring har ligget i at overføre et renoveringsprojekt fra en anden blok til nærværende uden tegningsgrundlag. Dette udmøntes i uoverensstemmelse af arealer og rørlængder mellem energimærkningsrapporten af den ene blok og renoveringsprojektet af den anden. Afvigelsen kan være grundet i de to forskellige registreringer eller i en reel forskel i bygningerne. Indretning af nye tilgængelighedslejligheder som led af renoveringsprojektet er ikke taget med pga. manglende oplysninger. Dette forhold kan ydermere være med til at forklare afvigelser af arealer og længder.</p> <p>Derudover er datagrundlaget for før-situationen generelt tyndt, herunder mangel af forbrugstal for vand og el samt manglende data om antallet af beboer. Dette påvirker især antagelser om energiforbruget til det varme brugsvand og varmetilskuddet, som dog har en relativt ring indflydelse på energiforbruget.</p>
------------------------------	---

**Projekt navn: Stengårdsskolen**

Motivation for energirenovering	Skolen havde i forvejen brug for renovering på grund af en nedslidt klimaskærm og et udtjent ventilationssystem. Den dybtgående energirenovering blev foretaget primært på grund af det høje energiforbrug samt den lave tekniske og arkitektoniske kvalitet af bygningen. Kommunen besluttede at renovere facaden og ændre de tekniske systemer, samt at give skolen et helt nyt indtryk udefra. Det energimæssige mål var at nå nybyggerikrav jf. da gældende BR08.
---------------------------------	---

<p> <b>Energitiltag</b> </p>	<p> Udvendig efterisolering af facaden, ekstra isolering af lofts konstruktion, nye vinduer, mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding, nyt belysningsanlæg med avanceret styring, efterisolering af tekniske installationer, rør og ventilationskanaler, nye cirkulationspumper til varmesystemet samt solceller på bygningens tag. </p>
------------------------------	--

Bygningsdata	Benævnelse: Stengårdsskolen	Areal, BBR: 8721 m²
	Adresse: Stengårds Plads 2, 3650 Stenløse	Opvarmet areal: 8837 m²

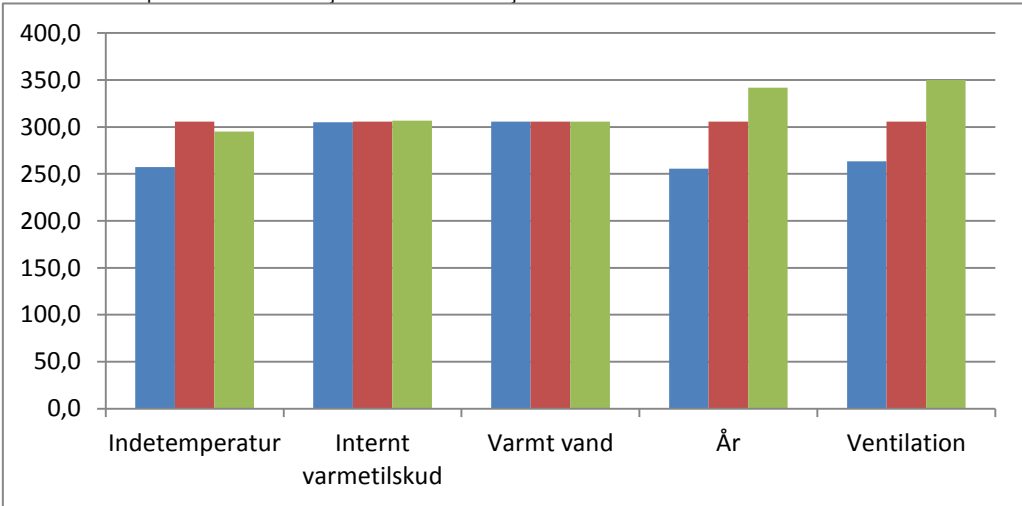
Projekt data	<i>Ejer:</i> Egedal Kommune	<i>Byggeår:</i> 1970 – 1978	<i>Renoveringsperiode:</i> 2013
	<i>Rådgivere:</i> Jens-Peter Madsen ApS Rådgivende Ingeniører	<i>Entreprenør:</i> Gottlieb Paludan Arkitekter	
	<i>Arkitekt:</i> Gottlieb Paludan Arkitekter	<i>Energimærke</i> Før: D Efter: C (B inkl. solceller)	<i>Brugere:</i> Undervisning, 350 børn + 35 voksne Brugstid: 55 timer pr. uge (8–17)



Foto og visualisering: Ove C. Mørck, Cenergia Rådgivende Ingeniører.

<p>Bygningstilstand før renovering</p>	<p><i>Klimaskærm:</i> Ydervægge var primært betonsandwichelementer med 75 mm isolering (<math>U = 0,44 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>). Derudover ydervægge med betonnæg med udvendig forsatsvæg med 100 mm isolering og pladebeklædning (<math>U = 0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>). I tilbyggede karnapper i klasseværelser var ydervæggen en let konstruktion med beklædning ud- og indvendig isoleret med 225 mm isolering (<math>U = 0,19 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>).</p> <p>Tagkonstruktionen havde 250 mm isolering (<math>U = 0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>).</p> <p>Terrændæk var generelt udført i beton og slidlagsgulv. Gulvet er isoleret med 50 mm (<math>U = 0,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>).</p> <p>Vinduer var primært udført som faste med enkelte gående partier. Vinduer var oprindeligt monteret med 2 lags termorude (<math>U = 2,80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math> og <math>g = 0,76</math>), men gennem tiden er ruder der var gået i stykker (ca. 40 %) udskiftet til 2 lags energiruder (<math>U = 1,40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math> og <math>g = 0,63</math>). Yderdøre er generelt monteret med 2 lags termoruder (<math>U = 2,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math> og <math>g = 0,76</math>) og rytterlys i samlingssal og gymnastiksale er ligeledes monteret med 2 lags termorude (<math>U = 2,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math> og <math>g = 0,76</math>).</p> <p>Gulv mod uopvarmet kælder bestod af betondæk med slidlag og 50 mm isolering (<math>U = 0,48 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}</math>).</p> <p><i>Tekniske installationer:</i> Varmeanlægget var udført som direkte fjernvarmeanlæg, og opvarmning skete via radiatorer. Varmefordeling var udført som to-strengs anlæg. Rør i uopvarmet kælder var isoleret med 40 mm isolering. Der var i alt 5 pumper med automatisk trinregulering og en effekt på 100 W. 1 automatisk modulerende pumpe med en effekt</p>
--	--

	<p>på 22 W og 2 automatisk modulerende pumper med en effekt på henholdsvis 100 W og 400 W. Herudover var der en pumpe af ukendt type med en effekt på 90 W.</p> <p>Varmt brugsvand blev produceret i en 2000 l varmtvandsbeholder, isoleret med 100 mm mineraluld (7,40 W/K). Brugsvandsrør og cirkulationsledning i den opvarmede del af bygningen var udført med 30 mm isolering (0,20 W/mK). Det var ikke muligt at efterisolere rørene da de ligger indstøbt i terrændækket. Brugsvandsrør og cirkulationsledning i uopvarmet kælder var udført med 20 mm isolering (0,21 W/mK). Tilslutningsrør til varmtvandsbeholderen var udført med 30 mm isolering (0,44 W/mK). På varmtvandsrør og cirkulationsledning var monteret 2 pumper med effekt på henholdsvis 80 W og 45 W.</p> <p>Skolen var primært ventileret med naturlig ventilation vha. ventiler i vinduerne og oplukkelige vinduer og døre. Tætningslister ved vindues- og døråbninger, samt friskluftventiler var defekte, og bygningerne var ret utætte. Der var monteret mekanisk ventilationsanlæg uden genvinding i skolens samlingssal (3,10 kJ/m<sup>3</sup>). I hvert undervisningsrum var der en mekanisk ventilator på taget styret via PIR-følere og luften der blev udsuget blev erstattet af luft fra ventilerne under vinduerne (0,75 kJ/m<sup>3</sup>). Den store hal var ventileret med mekanisk ventilation med varmegenvinding (60 %, 2,5 kJ/m<sup>3</sup>)</p> <p>Belysningsanlæg i undervisningslokaler og kontorlokaler var primært ældre 2-rørs armaturer (14,9 W/m<sup>2</sup> og 200 lux), men få steder var der etableret nyere lysstofrør og få steder blev anvendt glødepærer. Belysningen blev fortrinsvis styret manuelt, og der var ingen dagslysstyring. Belysningen i gangarealer var primært 2-rørs armaturer styret vha. bevægelsesmeldere (4,1 W/m<sup>2</sup> og 50 lux). På toiletter bestod belysningen af sparepærer med manuel betjening. Samlings- og gymnastiksale havde primært belysning i form af lysstofrør (11,5 W/m<sup>2</sup> og 150 lux), men enkelte steder var der desuden lamper med sparepærer og halogenspots. Belysningen blev styret med bevægelsesmeldere. Belysningsanlægget i kælderen bestod af 2-rørs armaturer samt få glødepærer og halogenspots (9,6 W/m<sup>2</sup> og 150 lux). Belysningen i kælderen var uden styring.</p>
Registrering af forbrugs- og indeklimadata før renovering	<p>Varmeforbrug, graddagekorrigeret:</p> <p>Fjernvarmeforbrug: 1065,7 MWh gennemsnit for 2007-2012 (svarende til 120,6 kWh/m<sup>2</sup>)</p> <p>El-forbrug (gennemsnit for 2007-2012):</p> <p>Total: 244.785 kWh (svarende til 27,7 kWh/m<sup>2</sup>)</p> <p>Bygningsdrift: 156.415 kWh (svarende til 17,7 kWh/m<sup>2</sup>)</p>
Gennemførte energitiltag	<p>Sammenfatning: Udvendig efterisolering af facaden, ekstra isolering af loftskonstruktion, nye vinduer, mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding, nyt belysningsanlæg med avanceret styring, efterisolering af tekniske installationer, rør og ventilationskanaler, nye cirkulationspumper til varmesystemet samt solceller på bygningens tag.</p> <p><i>Klimaskærm:</i> Ydervægge af betonsandwichelementer blev efterisoleret med 175 mm isolering (<math>U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}</math>). Ydervægge under vinduespartier blev efterisoleret med 100 mm isolering og ny facadebeklædning (<math>U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}</math>). Lette ydervægge blev efterisoleret med 50 mm isolering (<math>U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}</math>).</p> <p>For vinduer og døres vedkommende, blev de elementer udskiftet som ikke allerede var skiftet. De nye vinduer og døre havde 2-lags lavenergiruder med g-værdi på 0,50. Vinduerne havde en U-værdi på 1,10 W/m<sup>2</sup>K, hoveddøre havde en U-værdi på 1,60 W/m<sup>2</sup>K, havedøre en U-værdi på 1,80 W/m<sup>2</sup>K.</p> <p>Tagkonstruktionen blev efterisoleret med 200-250 mm isolering ved klasseværelser (<math>U = 0,13\text{-}0,15 \text{ W/m}^2\text{K}</math>).</p> <p><i>Tekniske installationer:</i> Der blev foretaget teknisk isolering af varmtvandsbeholder samt tilhørende tilkoblingsrør, varmtvandsrør, cirkulationsrør samt pumpe. I varmesystemet blev alle rør, pumper og ventiler isoleret. De 5 pumper i varmfordelingsanlægget blev udskiftet med nye (34 W og <math>F_p = 0,4</math>).</p> <p><i>Ventilation:</i> Der blev installeret nye lavenergi-motorer i ventilationsanlægget til den store hal (1,58 kJ/m<sup>3</sup>). Den naturlige ventilation blev reduceret og området med mekanisk ventilation uden varmegenvinding blev ligeledes reduceret.</p> <p><i>Belysning:</i> Nyt belysningssystem med lavere effekt og højere lux-niveau blev installeret inklusive ny automatisk lysstyring. I kælderen blev der foretaget en optimering af den elektriske belysning. Herudover blev der installeret nyt energistyringssystem i bygningerne.</p>

	<p><i>Solcelleanlæg:</i> Etablering af solcelleanlæg. Solcellerne er monokrystallinske og monteret på det flade tag, men i stativ med hældning på 20 °. Orienteringen er næsten sydvendt (14 ° mod vest). Solcelleanlægget har et areal på 1168 m², en peak power på 150 W/m² og en virkningsgrad på 89,1 %.</p>																								
Redegørelse for anvendt beregningsmetode	<p>Beregningen af varmekonsumet før energirenoveringen er først foretaget med standardbetingelser (dvs. 20 °C indetemperatur, 4 W/m² og 6 W/m² internt varmetilskud for hhv. personer og udstyr), og derefter er værdierne tilpasset så modellen kalibreres først med det faktiske elforbrug og derefter med det målte graddøgnkorrigerede varmekonsum.</p> <p>Det beregnede varmekonsum med standardbetingelser bliver: 92,6 kWh/m² (818,3 MWh).</p> <p>Det totale elforbrug svarer til et gennemsnitligt internt varmetilskud fra udstyr på ca. 3,5 W/m² og persontætheden i skolen svarer til et internt varmetilskud på 2,3 W/m² (350 elever og 35 lærere, 70 % samtidighed og stillesiddende aktivitet). Dette ændres i modellen.</p> <p>Det beregnede varmekonsum stiger derved til: 98,6 kWh/m² (871,3 MWh).</p> <p>Det målte graddøgnkorrigerede forbrug var 1065,7 MWh, og indetemperaturen i modellen fastlægges nu således at der opnås samme totale varmekonsum for bygningen. Indetemperaturen bestemmes herved som ca. 22,7 °C.</p>																								
Følsomhedsanalyse	<p><i>Variation i varmebesparelsen</i></p> <p>For hver af de 5 parametre vises 3 søjler med den røde søjle som reference.</p> <div></div> <p><i>Input for de enkelte søjler</i></p> <table><tr><th></th><th>Blå</th><th>Rød</th><th>Grøn</th></tr><tr><td>Indetemperatur [°C]</td><td>20</td><td>22,7</td><td>22</td></tr><tr><td>Internt varmetilskud [W/m²]</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td>Varmt vand [l/m²]</td><td>50</td><td>100</td><td>150</td></tr><tr><td>År [-]</td><td>2008</td><td>DRY</td><td>2010</td></tr><tr><td>Ventilation [-]</td><td>"Worst case"</td><td>Reference</td><td>"Best case"</td></tr></table> <p>For ventilationens vedkommende foretages variationen i luftmængder (± 10 %), SEL-værdi (± 15 %), varmegenvindingsgrad (± 5 %) og infiltration (± 30 %). "Worst case" svarer til at anlægget performer bedre end forventet før renoveringen og dårligere efter (hvilket giver den mindste besparelse), og "Best case" svarer til at anlægget performer dårligere end forventet før renoveringen og bedre efter (hvilket giver den største besparelse).</p>		Blå	Rød	Grøn	Indetemperatur [°C]	20	22,7	22	Internt varmetilskud [W/m²]	5	6	7	Varmt vand [l/m²]	50	100	150	År [-]	2008	DRY	2010	Ventilation [-]	"Worst case"	Reference	"Best case"
	Blå	Rød	Grøn																						
Indetemperatur [°C]	20	22,7	22																						
Internt varmetilskud [W/m²]	5	6	7																						
Varmt vand [l/m²]	50	100	150																						
År [-]	2008	DRY	2010																						
Ventilation [-]	"Worst case"	Reference	"Best case"																						

			Varmebesparelse spænd [MWh]		El-besparelse spænd [MWh]		
	Indetemperatur:		257,2 → 295,2		20,3 → 20,3		
	Internt varmetilskud:		304,9 → 306,6		20,3 → 20,3		
	Varmt vand:		305,8 → 305,8		20,3 → 20,3		
	Graddage:		255,6 → 341,8		20,3 → 20,3		
	Ventilation:		263,3 → 350,0		15,0 → 25,6		
<i>Fortolkning af resultater</i> De forventede besparelser er mest afhængige af antallet af graddage, og her varierer besparelsen ca. ± 15 % fra varmeste til koldeste år. Samme niveau af variation ift. de opnåede energibesparelser gælder for ventilationen i bygningen, og her påvirkes også den forventede el-besparelse. Indetemperaturen har stort set samme betydning som antallet af graddage. Variationer i det interne varmetilskud og forbruget af varmt brugsvand har lille eller ingen betydning for energibesparelsen. Ud fra følsomhedsanalysen må det vurderes at besparelsen vil være mellem 260 – 310 MWh i et normalår.							
Energiforbrug, målt og beregnet	MWh	Før		Efter		Besparelse	
		Varme	El	Varme	El	Varme	El
	Målt forbrug	1065,7	244,8	707,0	190,0	358,8	54,8
	Be15 standard	818,3	308,4	554,1	288,1	264,2	20,3
	Be15 tilpasset	1060,4	245,7	754,7	225,3	305,8	20,3
Solcelleanlæg	Beregninger og målinger i tabellen ovenfor tager ikke højde for solcellernes el-produktion, og den fastlagte besparelse i elforbruget dækker altså udelukkende ændringerne i ventilationsanlæggene kombineret med de bedre pumper som er udskiftet i varmefordelingsanlægget. Ifølge Be15-beregningen producerer solcelleanlægget 20,6 kWh/m² svarende til 182 MWh. Elforbruget til bygningsdrift er 15,5 kWh/m² svarende til 137 MWh og det totale elforbrug er 25,5 kWh/m² svarende til 225 MWh. Solcelleanlægget vil dermed teoretisk set dække ca. 81 % af det samlede elforbrug i bygningen, men pga. samtidighed mellem produktion og anvendelse, vil dækningsgraden være noget lavere. I Håndbog for Energikonsulenter kan man i tabel 9.19.3 aflæse at man forventeligt kan udnytte ca. 59 % (107 MWh) af den producerede el i bygningerne, mens resten (75 MWh) må sælges til nettet.						
Opnåede effekter og læringer	<ol style="list-style-type: none"><li>Den beregnede varmebesparelse er noget lavere end den faktiske, og ud fra de data der er til rådighed for casen er det svært at fastlægge årsagen til forskellen. En mulig forklaring kunne være, at indetemperaturen gennemsnitligt er lavere efter renoveringen end inden renoveringen, og hvis indetemperaturen efter renoveringen er ca. 21,8 °C, fås samme beregnede som målte varmebesparelse.</li><li>Den beregnede el-besparelse er også noget lavere end den faktiske. Igen er det vanskeligt ud fra de tilgængelige data at fastlægge præcist hvad der er årsag til forskellen, men som nævnt tidligere er der tale om relativt komplicerede ændringer og delvise ændringer i fx ventilations- og belysningssystemer.</li><li>Punkt 1 og 2 understreger kompleksiteten af denne case. Der er nogen usikkerhed om præcis hvilke tiltag der er gennemført for bygningerne. Fx er der lavet delvise ændringer/udskiftninger i både ventilations- og belysningssystemet, men datagrundlaget for indtastningen er begrænset/mangelfuldt. Man bør altid sørge for at have et godt overblik over både de eksisterende forhold inden renoveringen og de ændringer som foretages i forbindelse med renoveringen.</li><li>Et solcelleanlæg kan reducere elforbruget i bygningen. I Be15 er det dog vanskeligt direkte at medtage dette i beregningen, da Be15 kun kan modregne el-produktionen i det elforbrug som relaterer sig til bygningsdriften og samtidig kun kan modregne op til 10 kWh/m² el ifølge gældende regler i Bygningsreglementet. Det anbefales derfor generelt at solcelleproduceret el medtages i beregningen som vist ovenfor, dvs. i en separat beregning.</li></ol>						

## Case 4, Kontorbygning med før- og efter-målinger

### Projekt navn: Vester Voldgade 123

Eksempel på renovering hvor baseline, målepunkter og proces for verificering ikke var fastsat før udbud og udførelse. Den vigtigste læring fra eksemplet er, at dette skal være på plads før renovering påbegyndes.

Motivation for energirenovering	Bygningen trængte til vedligeholdelse, hvor der skulle udskiftes vinduer og tærede brugsvandsinstallationer. I den forbindelse blev der lavet en foranalyse med beregning af rentabiliteten for tillægsinvesteringen for en mere dybdegående renovering.		
Energitiltag	Udvendig efterisolering af facaden, reduktion af kuldebroer, lufttætning af bygning, nye brugsvandsrør inkl. teknisk isolering, udvendig solafskærmning, nyt belysningskoncept, mekanisk ventilationsanlæg, solvarmelagring under bygning.		
Bygningsdata	Benævnelse: Postgirohuset, 5 etager + kælder	Areal, BBR: 5155 m <sup>2</sup>	
	Adresse: Vester Voldgade 123	Areal, uopvarmet kælder 1224 m <sup>2</sup>	
Projekt data	Ejer:	Byggeår:	Renoveringsperiode:
	Bygningsstyrelsen	1938	~ 2011 - 2012
	Rådgivere:	Entreprenør:	Adresse:
	Lars Ørtoft Rådgivende Ingeniører	G.V.L Entrepriise A/S	Vester Voldgade 123,
	Jesper Strunge Jensen Rådg. Ing.		1552 København V
	Arkitekt:	Energimærke	Brugere:
	Tnt arkitekter	Før: F	UNI-C
		Efter: A1	Ministeriernes børnehus



Fotos: Ørtoft Rådgivende Ingeniører.

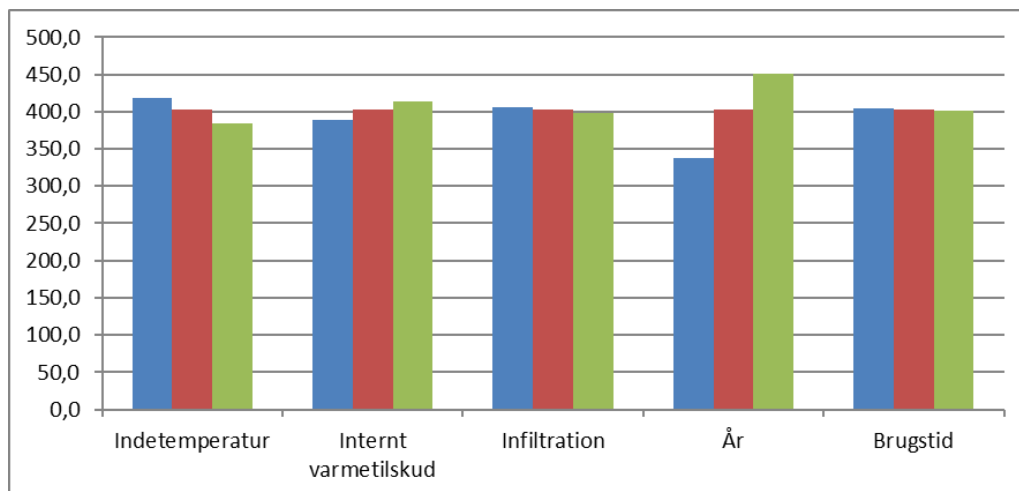
Bygningstilstand før renovering	<b>Klimaskærm:</b> Fladt tag som tidligere er efterisoleret med 200 mm isolering ( $U = 0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Ydervægge bestående af 150 mm armeret in-situ støbt beton isoleret med 40 mm træbeton afsluttet inderst med 10 mm puds ( $U = 1,32 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Ældre termovinduer ( $U = 2,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Kælderloft mellem stueetage og uopvarmet kælder består af et uisolert betondæk ( $U = 2,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Kældervægge bestående af 250 mm armeret in-situ støbt beton isoleret med 40 mm træbeton afsluttet inderst med 10 mm puds ( $U = 1,23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ).
	<b>Tekniske installationer:</b> Bygningen er forsynet med fjernvarme (damp). Varmeinstallationens kompleksitet betød at man efter renoveringen fandt ud af at varmeforsyningen ligeledes dækker to nærliggende bygninger (vuggestue og gartnerbolig). Der er mekanisk ventilation i bygningen med en ældre varmegenvinder ( $\eta = 62 \%$ ), og ingen køling. Ligeledes var der et ældre belysningsystem uden styring. Tærede brugsvandsinstallationer skulle udskiftes.



Registrering af forbrugs- og indeklimadata før/efter renovering	<p>Varmeforbrug, graddagekorrigeret,</p> <p>Før: brutto 602,7 MWh, netto 519,3 MWh (gennemsnit for 3 år)</p> <p>Efter: brutto 283,9 MWh, netto 151,2 MWh</p> <p>Brutto varme inkl. forsyning af vuggestue, gartnerbolig, rørtab, varmt brugsvand samt indkøringsforhold efter renovering, ej særskilt måling af varmtvand eller fordeling mellem lejere. Måleperioden dækker 2009 - 2012</p> <p>El-forbrug samlet, før: 96,5 MWh efter: 142,4 MWh. Der kan ikke skelnes mellem bygningsdrift og øvrigt el-forbrug.</p> <p>Redegørelse for indeklimaets kvalitet, omfattende undersøgelser før og efter er gennemført men bygningen har skiftet brugere. Luftkvalitet og udefrakommende støj er reduceret efter renoveringen, men pga. indkøringsproblemer har der været for varmt i perioder efter renoveringen.</p>
Gennemførte energitiltag	<p><i>Klimaskærm:</i></p> <p>Ydervæggene er efterisolerede udvendigt med 300 – 430 mm isolering (U-værdier 0,08 – 0,11 W/m<sup>2</sup>·K). Enkelte steder er der pga. manglede plads udvendigt brugt 50 mm vakuum isolering (<math>\lambda = 0,007</math> W/mK) hvilket resulterer i <math>U = 0,38</math> W/m<sup>2</sup>·K. Kælderydervægge er efterisoleret med 260 – 290 mm isolering udvendigt (<math>U = 0,12 - 0,13</math> W/m<sup>2</sup>·K) til underkanten af kantbjælker under gulve. Vinduerne er udskiftet og de nye vinduer er trukket ud i den efterisolerede del af facaden for at minimere kuldebroer. Total U-værdier for de nye vinduer inklusive rammer er 0,92 – 1,32 W/m<sup>2</sup>·K. Kuldebroer er isoleret ved tagstern og trapper, og der er udført en generel lufttætning af bygningen.</p> <p><i>Tekniske installationer:</i></p> <p>Der er etableret regnvandsopsamling til brug for toiletskyl fra ca. 1200 m<sup>2</sup> tag og udskiftning til 2-skyls toiletter. Herudover er der etableret helt nye vandrør inkl. teknisk isolering opdelt på 3 rørføringer for brugsvand og 1 rørføring for genbrugt regnvand. Der er etableret komplet ny LED-belysning i gange og på kontorer. På kontorer styres belysningen efter behov vha. følere for PIR (bevægelsessensorer) og dagslys</p> <p>Desuden er der etableret automatisk udvendig solafskærmning med faldarmsmarkiser/- screens med mulighed for manuel overstyring på facader mod sydøst og sydvest. Solafskærmning er udeladt mod nordvest (og mod nordøst er der ikke vinduer). Der er etableret nyt CAV ventilationsanlæg VE01 for kontorer for luftskifte ca. 1,5 h<sup>-1</sup> i kontortiden og nyt VAV ventilationsanlæg VE02 for intensive møderum med variabelt luftskifte på 0 – 5 h<sup>-1</sup> i kontortiden styret efter behov via temperatur- og CO<sub>2</sub>-sensorer. Der er etableret forvarmning og køling af ventilationsluft til VE01 ved anvendelse af vandrette jordslanger og to brønde med skrå dybe borer til ca. 21 meters dybde (toppen af kalklaget). Grundvandet er ca. 3,5 m under terræn. Forventet virkningsgrad/COP på ca. 50. Der er etableret solvarmeanlæg på ca. 35 m<sup>2</sup> forbundet til lagertank for solvarmelagring under bygningen. Formålet med lageret er at reducere varmetabet via dårligt isoleret kældergulv inkl. kuldebroer via randfundamenter og betonsøjler.</p>
Anvendelse før og efter renovering	Ændring fra enkeltmandskontor til storrumskontor (reduktion af varmekapacitet), persontæthed øget fra ca. 100 pers. før til ca. 150 personer efter renovering og det er nye lejere.
Redegørelse for anvendt beregningsmetode	<p>Beregningerne er udført i 2 udgaver, som standard Be15 beregning og tilpasset Be15 beregning med aktuelle forhold for bygningen, herunder er de tilpassede parametre kort beskrevet.</p> <p>Bruttoarealet for bygningen stiger ved renoveringen fra 5160 m<sup>2</sup> til 5505 m<sup>2</sup> grundet den udvendige isolering. Kælderen er medtaget som et uopvarmet rum i beregningerne. Brgustiden er 45 timer pr. uge før og 50 timer pr. uge efter renoveringen. Antallet af personer i bygningen stiger fra ca. 100 til 150 fra før til efter renoveringen, og dermed stiger det interne varmetilskud for personer fra 1,6 til 2,45 W/m<sup>2</sup>, for apparatur fra 0,6 til 3,5 W/m<sup>2</sup> og for apparatur om natten fra 0,2 til 1 W/m<sup>2</sup>. Før renoveringen er der ældre manuelt styret belysning og efter er der LED belysning med bl.a. PIR-følere. Temperaturen i varmeanlægget før renoveringen er ca. 70/40 °C og efter 45/30 °C.</p> <p>Forbruget af varmt brugsvand er ca. 75 l/m<sup>2</sup> pr. år. Indetemperaturen Setpunkttemperaturen for opvarmning er gennemsnitligt 20 °C før og 22 °C efter renoveringen. Varmekapaciteten for bygningen er før renoveringen sat til 120 Wh/K·m<sup>2</sup> og efter renoveringen 90 Wh/K·m<sup>2</sup>, grundet overgangen fra cellekontorer til storrumskontorer.</p>

## Følsomhedsanalyse Variation i varmebesparelsen

For hver af de 5 parametre vises 3 søjler med den røde søjle som reference.



Input for de enkelte søjler

	Blå	Rød	Grøn
Indetemperatur [°C]	21,0	22,0	23,0
Internt varmetilskud [W/m²]	3,15	5,95	7,80
Infiltration [l/s·m²]	0,0393	0,0593	0,0793
År [-]	2008	DRY	2010
Brugstid [timer/uge]	45	50	55

	Varmebesparelse spænd [MWh]	Elbesparelse spænd [MWh]
Indetemperatur:	384,1 – 418,8	-45,0 – -43,3
Internt varmetilskud:	389,6 – 414,4	-58,2 – -30,1
Infiltration:	398,4 – 406,1	-44,4 – -43,9
Graddage:	337,0 – 451,1	–
Brugstid:	400,6 – 404,4	-53,2 – -35,6

Fortolkning af resultater

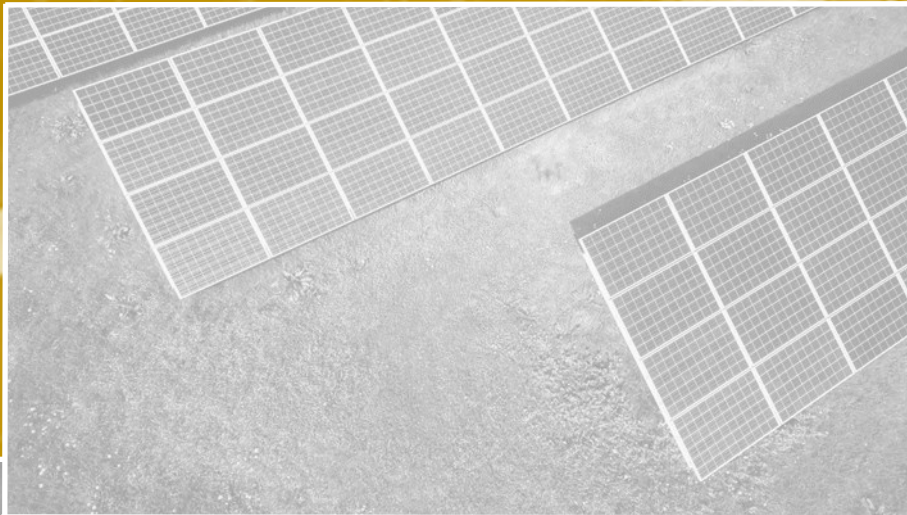
De forventede varmebesparelser vil, naturligt nok, være mest afhængige af antallet af graddage, og her varierer besparelsen ca.  $\pm 10\%$  fra varmeste til koldeste år. Herefter er den næstmest betydende faktor indetemperaturen i bygningen, hvor besparelsen varierer ca.  $\pm 5\%$ . Infiltrationen og brugstiden betyder ikke ret meget for varmebesparelsen.

Efter renoveringen vil bygningen bruge ca. 45 MWh mere el, men dette varierer i afhængighed af det interne varmetilskud (elforbruget til apparatur) og brugstiden for bygningen. En udvidelse/indskrænkning af brugstiden på 5 timer medfører et forøget/reduceret elforbrug på ca. 10 MWh, dvs. 25 %.

Ud fra følsomhedsanalysen må det vurderes at varmebesparelsen vil ligge mellem 380 – 420 MWh i et normalår, og tilsvarende vil elforbruget i bygningen stige med mellem 30 – 60 MWh.

## Bilag 7

Målerstrategi	Der er ikke delmålinger af varmekonsum til andre bygninger, forbrug måles kun på hovedmåler. Der er ikke særskilt måling af varmt brugsvand. Der er ikke monteret separate el-forbrugsmålere, så der kan ikke skelnes mellem forbrug til bygningsdrift og øvrigt forbrug.						
Energiforbrug, målt og beregnet	Før		Efter		Besparelse		
	Varme	El	Varme	El	Varme	El	
	Måling, gs 3 år	544,3	96,5	176,2	142,4	368,1	-45,8
	Be10 standard	505,2	163,0	159,6	164,6	345,6	-1,6
	Be10 tilpasset	579,5	97,5	165,2	141,5	414,3	-44,0
Andre positive gevinster ved renovering	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bedre udnyttelse af etageareal og mulighed for placering af arbejdspladser nær facaden uden kulde og trækgener.</li><li>• Med etablering af ventilation i kontorlokalerne er der opnået en bedre luftkvalitet.</li><li>• Lavere varmeregning til brugerne</li><li>• Mere attraktiv bygning som er lettere at leje ud.</li><li>• Lavere omkostninger til vedligeholdelse</li><li>• Mindre miljøbelastning med mindre energiforbrug i bygningen</li></ul>						
Opnåede effekter og læringer	<ol style="list-style-type: none"><li>1. klarhed over energiforbruget før renovering (baseline), variationer ml. år influerer på usikkerheden</li><li>2. før-modellen kalibreres i forhold til målte forbrug før renovering</li><li>3. interne belastninger har enorm indflydelse på det samlede forbrug og den driftsmæssige funktionalitet af bygningen<ol style="list-style-type: none"><li>a. nødvendigt, at overveje hvordan forbruget fastlægges, fx belysning</li><li>b. nødvendigt, at præcisere belastninger i samarbejde med fremtidige brugere.</li><li>c. ved udlejningsformål, kan der pålægges forbehold for person-tætheden og mængden af apparatur.</li></ol></li><li>4. rådgiveren / entreprenør bør have adgang til CTS-anlæg tidligt efter aflevering, for at kunne følge driften og bidrage med indkøring og fejlretning.</li><li>5. ved udbud bør der tages stilling til hvilke krav, der stilles til en fejlfri aflevering, vurdere hvilke installationer, der skal kunne overvåges og hvilke krav det giver til målepunkter<ol style="list-style-type: none"><li>a. for teknisk komplicerede anlæg, eller nye løsninger, tages stilling til afleveringskrav til drift, og deres styring og overvågning.</li><li>b. fx test periode i udbuddet, og udbyde første års drift til entreprenøren.</li></ol></li></ol>						





## OM UDGIVELSEN

Der er stort fokus på energieffektivisering af den eksisterende bygningsmasse, hvilket giver anledning til øget efterspørgsel efter retvisende energiberegninger, som kan benyttes til estimering af energiforbrug og -besparelser forbundet med renoveringer.

Erfaringer har generelt vist, at estimater af energiforbrug og energibesparelser i forbindelse med renoveringer har været forbundet med store usikkerheder – usikkerheder i en sådan grad, at det udgør en barriere for effektiv og troværdig gennemførsel af energirenoveringer i større omfang.

Denne branchevejledning for energiberegninger og den tilhørende introduktion for bygningsejere forklarer og anviser en proces samt en metode for at opnå mere retvisende estimater af energiforbrug og -besparelser.

Branchevejledningen tager udgangspunkt i en proces, hvor bygningsejeren (bygherre) og rådgiver har mulighed for at opbygge en større fælles forståelse af behov, betydende forudsætninger og usikkerheder forbundet med energiberegninger.

